





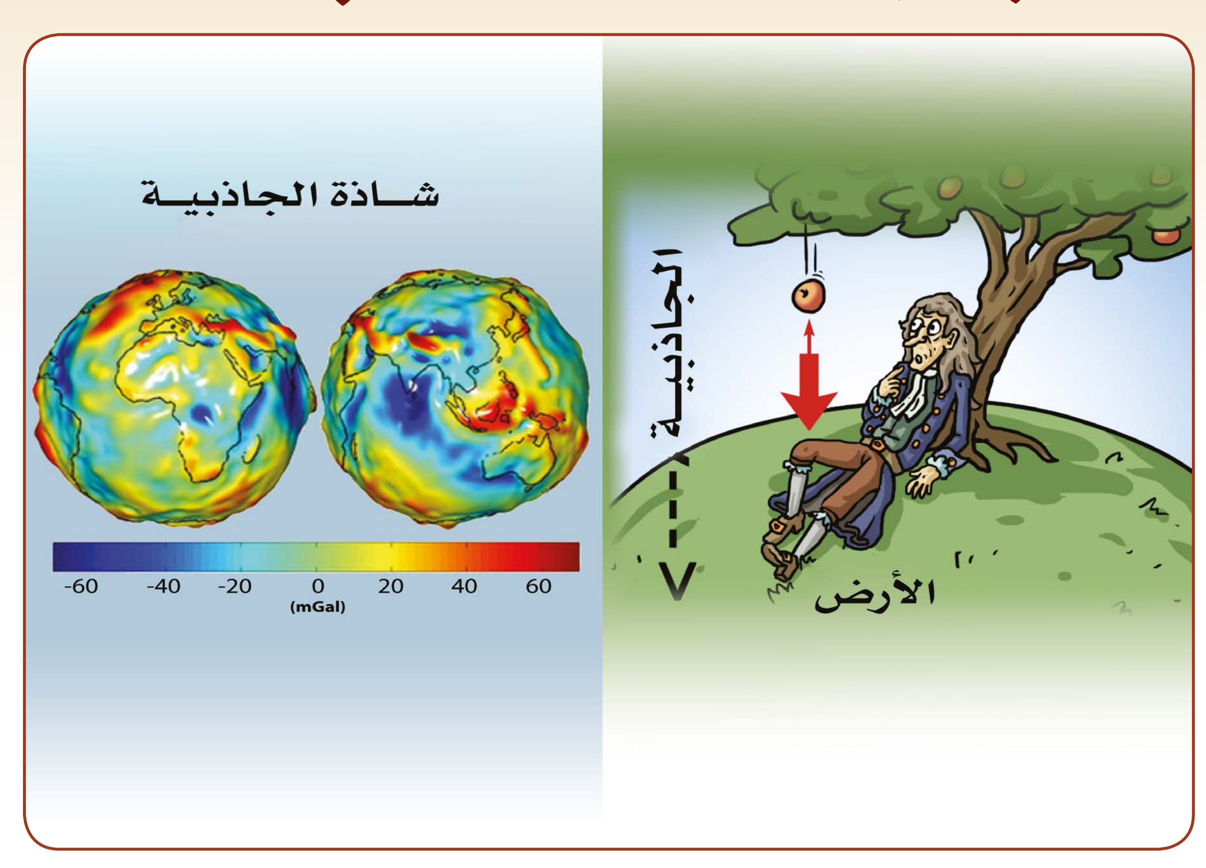




Al-Amri's Encyclopedia of Earth Sciences

موسوعة العمري في علوم الأرض

الجاذبية الأرضية وتطبيقاتها



عبد الله بن محمد العمري

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - كلية العلوم - جامعة الملك سعود

١٤٤٤ هـ - ٢٠٢٣ م



www.alamrigeo.com



فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

العمري ، عبدالله بن محمد سعيد

كتاب الجاذبية الأرضية وتطبيقاتها. / عبدالله بن محمد سعيد العمري - ط١..- الرياض، ١٤٤٣هـ

١٢٨ ص ، ٢١,٥ X ٢٨

ردمك: ٦-٩٩١١-٠٣-٦٠٣-٩٧٨

١ - الجاذبية الأرضية أ. العنوان ب. الموسوعة

ديوي ٦٢٤,١٥ ١٤٤٣ / ٧٦٣٤

رقم الإيداع ٧٦٣٤ / ١٤٤٣

ردمك: ٦-٩٩١١-٠٣-٦٠٣-٩٧٨

تطلب النسخة الورقية المجانية من المؤلف على العنوان التالي:

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود ص.ب 2455 الرياض 11451

الإصدار الإلكتروني من خلال الموقع

www.alamrigeo.com

للاستفسارات والملاحظات الاتصال على:

جوال +966505481215 هاتف +966 11 4676198

البريد الإلكتروني E.mail : alamri.geo@gmail.com

الطبعة الأولى

١٤٤٤هـ / ٢٠٢٣م


بسم الله الرحمن الرحيم
﴿ وَفِي ٱلۡأَرۡضِ ءَايَٰتٞ لِّلۡمُوقِنِينَ ﴾
[سورة الذاريات : آية 20]
﴾And on the Earth are Signs for
Those Whose Faith is Certain﴿


موسوعة العمري في علوم الأرض

تمهيد

الحمد والشكر لله الذي ساعدني في إنجاز هذا الجهد المتواضع المرتبط بتأليف الموسوعة العلمية العربية. تهدف الموسوعة العلمية الشاملة في علوم الأرض والبيئة والطاقة إلى تزويد وخدمة الباحثين وطلاب المدارس والجامعات وفئات المجتمع نظراً لمعاناة المهتمين من مشاكل ندرة المراجع العربية في هذا المجال. تشتمل الموسوعة المجانية والتي تعتبر الأضخم عالمياً على 30 كتاب علمي ثقافي موثق ومدعم بالصور والأشكال التوضيحية المبسطة في 6000 صفحة تقريباً تغطي **خمسة أجزاء** رئيسية:

الجــــزء الأول مكون من ستة كتب يناقش عمر الأرض وشكلها وحركاتها وتركيبها الداخلي وثرواتها المعدنية والتعدينية والجاذبية الأرضية وعلاقتها بالمد والجزر:

- تقدير عمر الأرض
- التركيب الداخلي للأرض
- شكل الأرض وحركاتها
- المعادن والتعدين
- الجاذبية الأرضية وتطبيقاتها
- المد والجزر

الجـزء الثانـي من الموسوعة يشتمل على ستة كتب تربط علاقة الأرض بالنظام الشمسي وبالأخص القمر والأغلفة الجوية والمائية والحيوية المحيطة بالأرض. وكذلك دور الزلازل والتفجيرات والبراكين والتسونامي في التأثير على بنية الأرض وكيفية تقليل مخاطرها:

- موجات التسونامي
- البراكين وسبل مجابهتها
- الزلازل والتفجيرات
- جيولوجية القمر
- تقييم مخاطر الزلازل
- الأغلفة المحيطة بالأرض

الجزء الثالث يتألف من ستة كتب يربط كل ما يتعلق بالمشاكل والكوارث البيئية والطبيعية وحلولها والتغيرات المناخية وأهمية التشجير ومعالجة الاحتباس الحراري:

- المشاكل البيئية وحلولها
- الانزلاقات والإنهيارات والفيضانات
- التغيرات المناخية والاحتباس الحراري
- الأمطار والسيول والسدود
- التشجير: التحديات والحلول
- التصحر والجفاف

الجـزء الرابـع يتكون من ستة كتب يناقش ارتباط علوم الأرض بالعلوم الأخرى نووياً وطبياً، وكذلك دور الطاقة المستدامة النظيفة اقتصادياً وبيئياً:

- مستقبل الطاقة في عالمنا
- الجيوفزياء النووية
- الطاقة الحرارية الأرضية
- الجيولوجيا الطبية
- هل إنتهى عصر النفط؟
- دليل كتابة الرسائل الجامعية والنشر العلمي

أما **الجـزء الخامـس** يتألف من ستة كتب متخصصة في العلوم الجيولوجية مكونة من 2020 سؤال وجواب لمساعدة طلاب الجامعات والباحثين وتهيئتهم للاختبارات الشاملة والتأهيلية للدراسات العليا ومزاولة المهنة:

- 321 سؤال وجواب في تطور الأرض
- 358 سؤال وجواب في علم الصخور والجيوكيمياء والاستشعار عن بُعد والـ GIS
- 358 سؤال وجواب في الثروات الطبيعية
- 380 سؤال وجواب في المخاطر الجيولوجية
- 303 سؤال وجواب في علم الزلازل والزلزالية الهندسية
- 300 سؤال وجواب في الجيوفيزياء التطبيقية

المؤلـــــف



مُقدِّمة

الجاذبية خاصيةٌ من خصائص المادة والطاقة أيضاً، بموجب نظرية النسبية لآينشتاين، والتي تتجلى بقوة شدّ تحدث فيما بين أجزاء المادة، مهما كانت صغيرةً أو كبيرةً، ومهما كانت المسافات الفاصلة فيما بينها، فالجاذبية قوة واسعة الشمول، وقد اشتق مصطلح الجاذبية Gravity من الكلمة اللاتينية "Gravis" التي كانت تعني (الوقار).

ربما كانت أولى التساؤلات الموثقة لدينا عن الجاذبية ما طرحته مجموعة الـ (ريج – فيدا) التي تعود للعصر الفيدي (نحو سنة 2000 ق.م) في الهند وهو: «لماذا تجوب الشمس السموات دون أن تسقط»، لكن لم يتح للبشرية الإجابة على تساؤل الفيديين إلا بعد آلاف السنين، وهو تساؤل يذكرنا بطريقة تفكير نيوتن – ومن قبله العلماء العرب والمسلمين– عندما تساءلوا: لماذا تسقط التفاحة ولا يسقط القمر على الأرض؟

الجاذبية عبارة عن قوة طبيعية تقوم بسحب أو جذب الأجسام تجاه بعضها البعض، وهذه الأجسام قد تتراوح ما بين الجسيمات الأولية كالإلكترونات والفوتونات، إلى الكواكب والنجوم العملاقة. تدور الأرض بمن عليها في دورتها اليومية حول محورها، ودورتها السنوية حول الشمس، ولهذا السبب تبدو

لنا الجبال وكأنها ثابتة، بينما هي في حقيقة الأمر تدور مع الأرض. فجميع الأجسام التي تخضع لجاذبية الأرض ومنها الجبال والبحار والغلاف الجوي وغيرها، تشترك مع الأرض في دورتها اليومية حول محورها، ودورتها السنوية حول الشمس.

الجاذبية من العوامل الأساسية لنشأة الحياة على سطح الأرض، ولها تأثير كبير على حياتنا والشكل الذي تسير به. لا شك أن للجاذبية فضل كبير في تشكل كوكب الأرض فلولا الأرض وجاذبيتها المناسبة لما ووجد الغلاف الجوي بالشكل الذي هو عليه الآن، ولم تكن الحياة لتبدأ على الكوكب الأزرق. الجاذبية هي القوة التي تحافظ على الغلاف الجوي و هو من أهم الأشياء التي تسبب وجود واستمرار الحياة على كوكب الأرض و ذلك لأنه يمنحنا الأكسجين اللازم للتنفس كما أنه يحمي الارض من العديد من أنواع الأشعة الضارة و الأجسام الساقطة من الفضاء مثل النيازك التي تحترق نتيجة احتكاكها بالغلاف الجوي.

باستخدام فكرة الجاذبية استطاع العلماء والمهندسون صناعة الأقمار الصناعية، التي تقوم ببث القنوات التلفزيونية، وغيرها مختص بالطقس، وكذلك تسريع المسابير الفضائية. تحافظ الجاذبية على المسافات بين الكواكب و ثباتها في المدارات الخاصة بها مثل الحفاظ على ثبات موقع كوكب الأرض في المدار الخاص به والحفاظ على ثبات المسافة بينه و بين الشمس و هي المسافة المثالية التي تسمح باستمرارية الحياة على كوكب الأرض لأنه لو اقتربت المسافة أكثر من ذلك لزادت درجة الحرارة على كوكب الأرض ولو ابتعدت المسافة فإن درجة الحرارة سوف تقل و في الحالتين لن تناسب الظروف وجود الحياة و لذلك فإن المسافة التي تحافظ عليها الجاذبية بين الأرض والشمس هي المسافة المثالية.



يرتبط علم الجاذبية الأرضية إرتباطا وثيقا بعدد من العلوم الأساسية، التي ساعدت على تقدمه، وهي علوم الفلك والرياضيات والطبيعة. كما ان هناك علوما أخرى أسهمت تطبيقات علم الجاذبية الأرضية في تقدمها وأضافت المزيد إليها، ومنها علوم الجيوديسيا والجيوفيزياء والجيولوجيا في التطبيقات التالية:

- استكشافات البترول
- الدراسات الجيولوجية الإقليمية
- تحديد التعويض الايزوستاتي
- كشف الرواسب المعدنية
- كتشف الفجوات تحت السطحية (الجاذبية الدقيقة)
- تحديد مواقع الوديان الصخرية المدفونة
- تحديد سمك الطبقة الجليدية
- الغلاف المائي محدثة ما يسمى «المد والجزر البحري»
- كشف الآثار القديمة (الجاذبية الدقيقة)
- شكل الأرض وديناميكيتها (تحركاتها الحديثة).
- الاستخدامات العسكرية (خاصة في مسار الصواريخ)
- مراقبة النشاطات البركانية

الجاذبية الأرضية والقوى المؤثرة عليها

درس الفلكيون القدامى حركة القمر والكواكب، ولكن هذه الحركة لم تُفسَّر بشكل صحيح إلا في أواخر القرن السابع عشر عندما أوضح العالم الإنجليزي إسحاق نيوتن (1642–1727م) أن هناك ارتباطاً بين القُوى الجاذبة للأجسام نحو الأرض وأسلوب حركة الكواكب. بنى نيوتن دراسته على الدراسة الدقيقة لحركة الكواكب التي قام بها إثنان من الفلكيين في أواخر القرن السادس عشر الميلادي، وهما: تيخو براهي الدنماركي، ويوهان كيبلر الألماني. ومن القوانين الثلاثة التي اكتشفها كيبلر، أوضح نيوتن كيف أن قوة جذب الشمس لا بد أن تقل بزيادة المسافة، وافترض أن الأرض لا بد أن تسلك السلوك ذاته، فتمكن من حساب القوة التي تجذب القمر إلى الأرض عند سطحها. أما عالم الطبيعة الإيطالي جاليليو جاليلي (1564–1642م) فقد قدم مساهمات جيدة في مراقبة الأجسام الساقطة في اتجاه الأرض، واستنتج أن معدل السرعة المتزايد (عجلة الجاذبية الأرضية) ثابتة بالنسبة لكل الأجسام، وأن سرعة الجسم الساقط تساوي في الثانية الأولى نصف قيمة عجلة الجاذبية (التثاقلية) في مكان سقوطه على سطح الأرض.

وتنص نظرية نيوتن للجاذبية على أن قوة الجذب بين جسمين تتناسب طردياً مع كتلة كل منهما، ومعنى ذلك أنه كلما زادت كتلة أي من الجسمين زادت قوة الجذب بينهما. وتشير النظرية إلى الكتلة وليس إلى الوزن. فوزن جسم ما على الأرض هو في الواقع قوة جذب الأرض التي تؤثر على هذا الجسم. ويكون للجسم نفسه أوزان مختلفة على سطوح الكواكب المختلفة، ولكن كتلته تظل ثابتة لا تتغير. وتتناسب قوة الجاذبية تناسباً عكسياً مع مربع المسافة بين مركزي ثقل الجسمين، فمثلاً إذا



تضاعفت المسافة بين جسمين، فإن قوة التثاقل (التجاذب) بينهما تصبح ربع قيمتها الأصلية.

$$F = G \frac{mM}{R^2}$$

حيث (M) هي كتلة الأرض، (m) هي كتلة الجسم، (R) هي نصف قطر الأرض، (G) هو ثابت التجاذب، ويساوي $6.67 \times 10^{-11}\ Nm^2\ kg^{-2}$ وبما أن كتلة الجسم الآخر (m) بالنسبة لكتلة الأرض (M) صغيرة جداً، وبالتالي فإن المعادلة السابقة يمكن كتابتها على النحو التالي:

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

حيث (g) تمثل تسارع جذب الأرض للجسم، وتم تقديرها حسب المعادلة التالية:

$$g = 9.82\ m/s^2$$

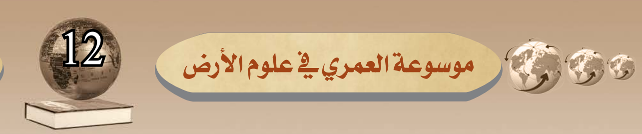
إذا افترضنا أن متوسط نصف قطر الأرض $R = 6370\ km$، وأن الأرض كرة ساكنة (تامة الكروية)، وأن توزيع كثافة صخورها منتظم، فإن القوة المؤثرة في جسم ما على مسافة ما من مركز الأرض تكون واحدة في كل مكان، بمعنى أن قيمة عجلة الجاذبية تكون واحدة. ونظراً لأن الأرض ليست تامة الكروية، كما أن لها حركة دوران، فإن هذا يعني تغير قيمة عجلة الجاذبية على سطح الأرض.

أول قياس لتسارع الجاذبية (عجلة الجاذبية الأرضية) كان لجاليليو في تجربته الشهيرة، عندما ألقى فيها أشياء من قمة برج بيزا Pisa المائل. وتسمى وحدة تسارع

الجاذبية الأرضية (جال) بوحدات (سم، جم، ثانية) أو الـ c.g.s، وتعادل ($1cm/s^2$) تشريفاً للعالم جاليليو. مقاييس الجاذبية الحديثة يمكن لها أن تقيس التغيرات الطفيفة جداً في تسارع الجاذبية (التثاقلية) إلى جزء واحد من 10^9 (تكافئ المسافة بين الأرض والقمر بدقة 1 متر).

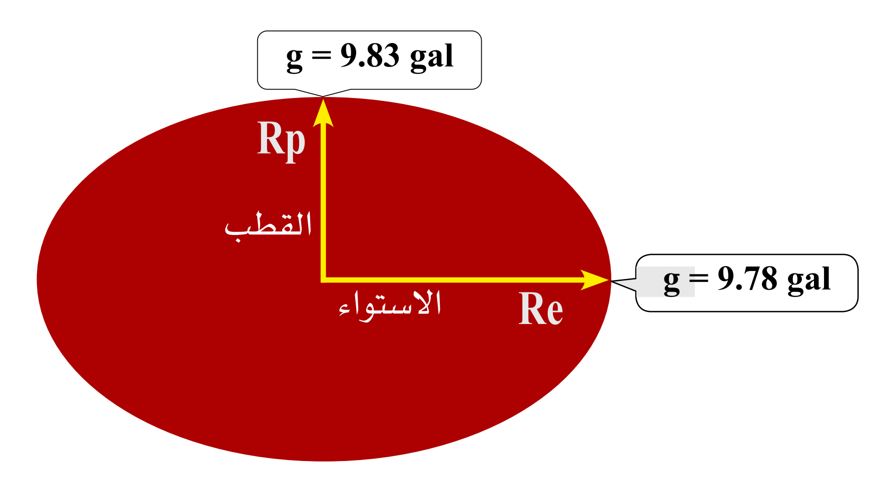
تصل حساسية الأجهزة الحديثة إلى 10 أجزاء في المليون، ومثل هذه القياسات الصغيرة، أدت إلى استنتاج وحدات أصغر مثل المليجال ($1mGal=10^{-3}$ Gal) والميكروجال ($\mu Gal = 10^{-6}$ Gals). وحسب النظام الدولي للوحدات الـ SI، يقاس تسارع الجاذبية بـ $\mu m/s^2$، ويطلق عليها وحدة الجاذبية (الجاذبية) gravity unit (g.u.)، أي أن 1g.u. تساوي 0.1mGal. وحدة الجاذبية ما زالت غير مقبولة عالمياً، وما زالت الـ «mGal» والـ «μGal» واسعة الاستخدام. ولأن قيم الجاذبية المطلوبة في التطبيقات الجيولوجية والمساحية تتفاوت دقتها من 0.05 + إلى 0.03+ مليجال، ونظراً لصغر هذه القيمة فإن أجهزة الجرافيميتر gravimeter يجب أن تكون دقيقة جداً في تصميمها وطرق عملها.

يرى بعض المختصين استخدام مصطلح «الجاذبية أو التثاقلية» بدلاً من الجاذبية، اشتقاقاً من التعبير اللاتيني Gravis التي تعني ثقيلا، في حين أن كلمة جذب هي Attraction. ولقد ورد ذكر كلمة «ثقل» في [الزلزلة، 2] ﴿ وَأَخْرَجَتِ ٱلْأَرْضُ أَثْقَالَهَا ﴾ وكذلك في [القارعة، 6] ﴿ فَأَمَّا مَن ثَقُلَتْ مَوَٰزِينُهُۥ ﴾ وكذلك في الآية [التوبة، 37] ﴿ٱثَّاقَلْتُمْ إِلَى ٱلْأَرْضِ ﴾. وفي قوله تعالى: ﴿وَأَنزَلْنَا ٱلْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَٰفِعُ لِلنَّاسِ ﴾ [الحديد، 25]، فالحديد عنصر وافد من الكون، لم يخلق في الأرض. لأن تكوين ذرة واحدة من الحديد قد تحتاج إلى طاقة تعادل أكثر من أربعة أضعاف طاقة الشمس.




لقد دلت الدراسات الجيوفيزيائية الحديثة أن كثافة الصخور تزداد تدريجياً مع ازدياد العمق، حيث وجد أن مكونات الأرض في اللب (حديد ونيكل) أثقل منها في الوشاح، وفي الوشاح أثقل منها في القشرة. إذ تبلغ كثافة الصخور حوالي 12 جم/ سم^3 في اللب، في حين تبلغ في الوشاح 3.5 جم/ سم^3، وفي صخور القشرة تصل إلى 2.7 جم/ سم^3.

تم حساب قيم الجاذبية عند الأقطاب بـ 983.218 **جال**، في حين قيست عند خط الاستواء بـ 978.032 جال، واستنتج أن هناك فرقاً قدره 5.2 **جال**. وهذا الفرق لا يتفق مع القيم التي تم التوصل إليها نظرياً عند افتراض أن الأرض كروية الشكل، وفي حالة سكون وتوزيع متماثل لكثافتها، حيث يبلغ الفرق 3.4 جال. وهذا الاختلاف ما بين القيمة المحسوبة بواسطة الأجهزة (5.2 **جال**) والقيمة النظرية (3.4 **جال**) إنما يدل على أن الأرض تأخذ شكلاً **إهليجيا** أو **بيضويا**. قال تعالى: ﴿ وَٱلۡأَرۡضَ بَعۡدَ ذَٰلِكَ دَحَىٰهَآ ﴾ **[النازعات، 30]**.



قياس الجاذبية (التثاقلية) الأرضية

هناك طريقتان لقياس قيمة الجاذبية في أي نقطة على سطح الأرض، وهما: الجاذبية المطلقة، والجاذبية النسبية، وكلتاهما تتطلب دقة عالية في القراءات المرصودة باستخدام أجهزة الجاذبية المتطورة.

الجاذبية المطلقة Absolute Gravity

يحتاج تحديد تسارع الجاذبية أو عجلة التثاقلية الأرضية المطلقة إلى طرق معملية دقيقة، وعادة تنفذ فقط تحت الظروف المعملية، وتُستخدم طريقتان للقياس هما: طريقة السقوط الحر وطريقة تأرجح البندول. وتستخدم أجهزة قياس الجاذبية المطلقة للحصول على الجاذبية بدقة عالية في نقاط محددة فوق سطح الأرض، وذلك لتعيين نقاط ضبط أساسية ومعايرة أجهزة قياس الجاذبية النسبية، لأن أجهزة قياس الجاذبية المطلقة ثقيلة، وقد يصل وزنها إلى 300 كجم، ويصعب نقلها من نقطة إلى أخرى.

ومن هذه الأجهزة على سبيل المثال فولار هامون Faller Hammon، وهو جهاز يستخدم طريقة السقوط الحر. وحديثاً أمكن قياس الجاذبية المطلقة لدقة تتراوح ما بين 0.05 + إلى 0.005 + مليجال بعد أخذ سلسلة من القراءات لعدة أيام.

الجاذبية النسبية Relative Gravity

في الاستكشاف الجاذبي عادةً، ليس من الضروري تحديد القيمة المطلقة للجاذبية، بل الأفضل هو قياس التغيرات النسبية. فيتم اختيار محطة أساسية (وهي التي ترجع إلى الـ INGSN71)، وتنشأ محطات جانبية لشبكة ثانوية. جميع بيانات الجاذبية التي تجمع من هذه المحطات خلال المسح تنقص بالنسبة للمحطة الأساسية. وإذا لم يكن من

الضروري حساب القيم المطلقة لـ (g)، فتعتبر قيمة الجاذبية عند المحطات الأساسية المحلية تساوي صفراً. المسافات البينية بين محطات الجاذبية مهمة بالنسبة لتفسير البيانات. في الدراسات الإقليمية، قد توزع المحطات بكثافة 2 - 3 محطات لكل كم^2، غير أنها في استكشافات البترول، قد تزيد الكثافة إلى 8 - 10 محطات لكل كم^2. أمّا في مسح الدراسات المحلية، فيُحتاجُ إلى دقةٍ عاليةٍ للخصائص السطحية، ولذلك فإن محطات الجاذبية قد تُوزع في شبكة أطوال أبعادها تتراوح بين 5 - 50 متراً. وعند إجراء الجاذبية الدقيقة Microgravity قد تصل المسافة بين المحطات إلى نصف المتر.

مقياس الجاذبية (الجرافيميتر) Gravimeter

الجرافيميتر عبارة عن جهاز صغير، سهل النقل من نقطة لأخرى في مواقع الرصد. تعتمد فكرته على سلك زنبركي متوازن، يتغير توازنه بتأثير أي قوة إضافية مهما صغرت قيمتها، ويمكن قياس مقدار التغير الذي يحدث. ومن مميزاته سهولته وصغر حجمه وسرعة القراءة ودقتها. وتنقسم أجهزة الجرافيميتر إلى: الساكن Stable وغير الساكن Unstable. أجهزة قياس الجاذبية هي اتزان زنبركي متطور يعلق في آخره كتلة ثابتة. وزن الكتلة هي حاصل ضرب الكتلة في تسارع الجاذبية أو عجلة التثاقلية الأرضية، وكلما زاد الوزن الذي يعمل على الزنبرك فإن كمية الاستطالة فيه تتناسب طردياً مع قوة التمدد، أي مع زيادة وزن الكتلة، (الوزن = حاصل ضرب الكتلة في عجلة الجاذبية الأرضية). ثابت التناسب هو ثابت مرونة الزنبرك (K)، هذه العلاقة تعرف بقانون هوك Hook. وحيث أن الكتلة ثابتة، فإن تغيرات الوزن سببها تغيرات في الجاذبية (δg)، وبقياس التمدد في الزنبرك (δl) يمكن تحديد اختلافات الجاذبية. وبما أن اختلافات الجاذبية صغيرة جداً فإن التمدد في أي زنبرك سيكون صغيرا جداً هو الآخر.

أحدث أجهزة قياس الجاذبية الأرضية (الجرافيميتر) من نوع **CG - 6**

الإجراءات الحقلية في الجاذبية

1. تأثير المد والجزر

يؤثر جذب كل من القمر والشمس على قياسات الجاذبية الأرضية، حيث تقع القياسات تحت تأثير تغير دوري (كل 12 ساعة) في مجال الجاذبية الأرضية، يصل إلى 0.2 مليجال. وجذب القمر أكبر تأثيراً من جذب الشمس على مجال الجاذبية الأرضية. وهناك طريقتان لإلغاء تأثير المد والجزر على قياسات أجهزة قياس الجاذبية «جرافيميتر».

الطريقة الأولى: هي التكرار الدوري لقياسات الجاذبية الأرضية عند نقطة أو أكثر من محطات الجاذبية المطلقة أو الأساسية، وفي زمن يقل عن 6 ساعات. وفي هذه الحالة فإن تصحيح انحراف الجهاز يشمل في الوقت نفسه تصحيح تأثير المد والجزر.

أما **الطريقة الثانية:** فهي استخدام جداول المد والجزر. وتصحيح تأثير المد والجزر يمكن حسابه بعد إجراء التكرار الدوري للقياسات على نقطتين أو أكثر من محطات الجاذبية المطلقة أو الأساسية، واستخدام الرسم البياني للعلاقة بين تغير قيم الجاذبية الأرضية عند محطات تكرار القياسات وزمن القياسات أو باستخدام الحاسبات وبرامج خاصة بتقويم بيانات قياسات الجاذبية الأرضية. ويتيح استخدام الحاسبات وبرامج تقويم البيانات حساب قيم التصحيحات وحساب القيم الصحيحة للجاذبية الأرضية عند نقاط القياس. ويجري تقويم بيانات عجلة الجاذبية الأرضية قبل إجراء أي نوع آخر من التصحيحات.

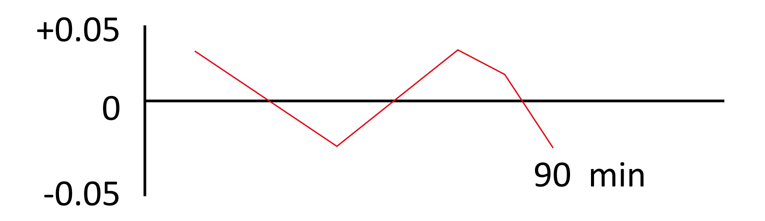
تؤثر تغيرات المد والجزر على كتلة مقياس الجاذبية (الجرافيميتر)، التي عادة ما تتغير في مدى 0.15 + مليجال من القيمة المتوسطة. ونظراً لأن هذه القيم تعتبر كبيرة بالنسبة لدقة معظم أجهزة قياس الجاذبية = (0.01)، لذلك يجب التصحيح. وبما أن

تأثيرات المد والجزر يمكن توقعها بدقة؛ لذلك من السهل عمل برامج حاسوبية تعطي القيم الدقيقة عند أي موقع في أي وقت.

2. تأثير انجراف الجهاز Drift

تعتمد قراءة الجرافيمتر عند أي نقطة على مقياسٍ مدرجٍ dial scale، وتعتمد على العلاقة بالقيمة المطلقة للثقالة عند هذه النقطة. إذا نقل الجرافيميتر لبضع ساعات أو إن ترك في مكان واحد، ثم قُرأ مرة أخرى فيما بعد عند المكان نفسه، يُلاحظ تغير في القراءة. إذا أخذت قراءات إضافية عبر فترة من الساعات في المكان نفسه، ثم رسمت الجاذبية مقابل الزمن، سوف نجد أن النقاط تميل للسقوط على منحنى أملس. هذا التغير المستمر في قراءات الجاذبية مع الزمن يعرف بـ الإنجراف «drift»، ويحدث بناءً على حقيقة أن زنبرك الجرافيميتر ليس مرناً عاماً، ولكنه معرض لتغير بطيء عبر الفترات الطويلة.

الطريقة المعتادة لتصحيح الانجراف التدريجي هو تكرار القراءات عند محطة الأساس في فترات تتراوح بين ساعة إلى ساعتين. ثم من منحنى الانجراف نحصل على قراءة الأساس التي نطرحها من قراءة المحطة لنحصل على فرق الجاذبية.



تأثير انجراف الجهاز

بما أن جميع قراءات الجرافيميتر ذات تدريج عشوائي، لذلك تكون المعايرة ضرورية كي نعبر عن هذه التدريجات بالمليجال. الطريقة المعتادة لاختبار ثابت المعايرة هي قراءة الجرافيميتر عند محطتين يكون فرق الجاذبية بينهما معروفاً بدقة من قياسات البندول. بعد تصحيح الانجراف التدريجي، نحصل على فرق الجاذبية بين نقطة المشاهدة ومحطة الأساس، بضرب القراءة في معامل المعايرة للجرافيميتر. وبمعلومية الفرق في الجاذبية يمكن حساب الجاذبية المطلقة عند نقطة المشاهدة من الجاذبية عند محطة الأساس المعروفة.

3. المسافة بين المحطات

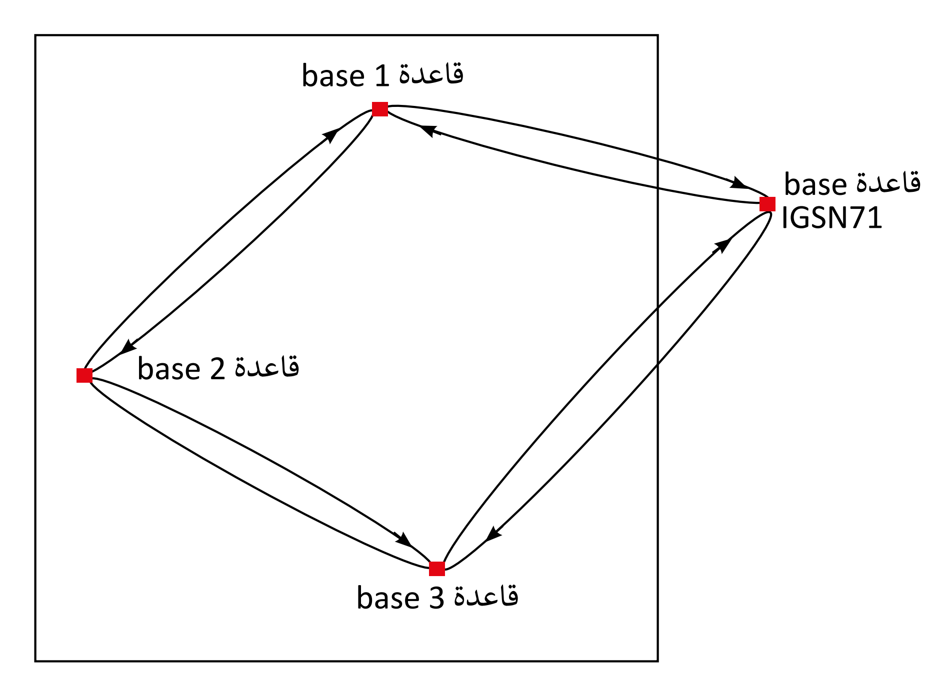
توزع محطات أجهزة الجاذبية (الجرافيمتر)، كلما أمكن، في أركان مربع. يعتمد اختيار طول الشبكة (S) أساساً على عمق البيانات الجيولوجية المطلوبة (H)، بحيث تكون $(S \leq H)$. في المسوحات الواسعة، تتراوح (S) ما بين بضعة كيلومترات إلى عشرات الكيلومترات. أما في المدى الضيق فهي تتراوح ما بين 10 إلى 100 متر. وبالنسبة لاستكشافات البترول يكون المدى حوالي كيلومتر واحد، مع الحرص على تجنب وضع المحطات بالقُرب من المعالم الطبوغرافية التي قد تؤثر بشكل كبير على قراءات أجهزة الجاذبية (الجرافيميتر).

4. إنشاء محطة القاعدة

من المفضل عادة ربط قياسات الجاذبية بأخرى ذات جاذبية مطلقة معروفة بدقة، لذلك يجب أن نجد IGSN71 أو FGBS الأقرب محلياً، ثم ننسب القياسات إلى قيم IGSN71 أو FGBS بالرغم من أن ذلك ليس ضرورياً للمسوحات المحلية المحدودة، لأن هذه المسوحات تبحث عن تغيرات الجاذبية، ولكن بالنسبة للأغراض البحثية يفضل ربط المحطات بال IGSN71. لعمل ذلك، يُفترض معدل انحراف تدريجي خطي وفترات زمنية

بينية قصيرة، بحيث تدخل تغيرات المد والجزر في منحنيات الانحراف التدريجي كتغيرات خطية.

طريقة التكرار تبدأ عند محطة IGSN71، وبعد الحصول على قراءة هناك، تعتبر هي محطة القاعدة 1، ثم تتابع بالعودة إلى محطة IGSN. هذا التسلسل يعطي فروق الجاذبية النسبية بين المحطتين بعد تصحيح الانحراف التدريجي. وبما أن قيم الجاذبية المطلقة معروفة في محطة الـ IGSN71، إذاً، تُعرف القيمة المطلقة للجاذبية في محطة القاعدة 2. وهكذا نحدد قيمة الجاذبية المطلقة عند محطة القاعدة 3. في العملية النهائية، تُستخدم محطة القاعدة 3 لمعرفة قيمة المحطة الـ IGSN71. نادراً ما تكون هذه القيمة كالقيمة المنشأة أصلاً، والفرق بينهما هو مؤشر على كمية الخطأ في قياسات محطات القاعدة من 1 إلى 3.



إنشاء محطات القاعدة

5. تحديد الارتفاعات

يجب معرفة ارتفاع المحطات في مدى من 25 - 30 سم لكي تحتفظ قيم شاذات بوجير Bouguer بدقة أفضل من 0.1 مليجال. تبين الخرائط الطبوغرافية مواقع العلامات المرجعية (Benchmarks)، وهي نقاط ذات ارتفاع مقاس بدقة عالية جداً. العلامات المرجعية هي عبارة عن أنبوب إسطواني من النحاس الأصفر مثبت في قاعدة من الخرسانة، وهي تعتبر نقطة مرجعية للمسوحات المتنقلة. وهناك أيضا ما يعرف بنقاط الارتفاع، توضح على معظم الخرائط الطبوغرافية، وهي نقاط تم تحديد ارتفاعاتها. وبالرغم من أن هذه النقاط توضع في مواقع سهلة التعريف مثل تقاطع الطرق، إلا أن النقطة نفسها قد لا تُعرف في الحقل، مما قد يتسبب بخطأ كبير. حديثاً، اُستخدم نظام تحديد المواقع العالمي GPS لهذا الغرض.

تصحيح بيانات الجاذبية Gravity Data Correction

تتأثر الأرض بقوى التثاقل (التجاذب) من القمر والشمس، وعلى ضوء ذلك، يحصل لها تشوهات من فترة لأخرى. مما يترتب عليه تأثر قيم الجاذبية عند أي نقطة بهذه التشوهات. علاوة على ذلك، تتغير قيم الجاذبية من موقع لآخر. وتتغير القراءات أيضاً في الموقع نفسه. وهذا الفرق يعرف بشاذات الجاذبية، وتفسيره ضروري لمعرفة مكونات باطن الأرض. على ضوء هذه التغيرات تصحح قراءات الجاذبية الأرضية للعوامل التالية:

- قوة جذب الأرض.
- قوة الطرد المركزي (تكون أعلى ما يمكن عند خط الاستواء).
- نصف قطر الأرض (عند خط الاستواء أكبر منه عند الأقطاب).
- شكل الكتل الأرضية وتغير طبوغرافية الأرض من موقع لآخر.
- موقع جهاز الرصد بالنسبة لمستوى سطح البحر.
- تغير كثافة الأجسام بين جهاز القياس ومستوى سطح البحر.
- الجذور خفيفة الكثافة للقارات والجبال العالية.
- الجذور العكسية Antiroots عالية الكثافة للمحيطات.

بعد الانتهاء من إجراء قياسات الجاذبية الأرضية، ولمقارنة هذه القياسات مع قيم الجاذبية القياسية عند نقطة القياس، يلزم إجراء بعض التصحيحات على قيم الجاذبية الأرضية المقاسة قبل استخدامها في الأغراض العلمية البحثية والاقتصادية المختلفة. وتُجرى هذه التصحيحات للوصول بقيم الجاذبية الأرضية المقاسة إلى الدقة المطلوبة

لهـذه الدراسـات. وتهـدف هـذه التصحيحـات إلـى أولاً: التخلـص مـن عـدد مـن الظواهـر المؤثرة في دقة القياسات. وثانياً: أخذ نسبة القياسات إلى مستوى معين من سطح الأرض كمرجع عـام لتلك النوعيـة مـن القياسـات. وتشـمل مـا يلـي:

أولاً : تصحيحـات لانحـراف الأجـزاء المرنـة في أجهـزة القياسـات وتأثيـر المـد والجـزر، وهـي تصحيحـات يلـزم إجراؤهـا قبـل إرجـاع قيمـة الجاذبيـة الأرضيـة إلـى المستوى المرجعي الثابـت.

ثانياً : تصحيحات تساعد في حساب قيم الجاذبية الأرضية وإرجاع قيمها إلى مستوى ثابت تم اختياره لهذا الغرض، تصحيح (خط العرض – الهواء الحر – بوجير – التضاريس).

تصحيح خط العرض Latitude Correction

يعمل هـذا التصحيح لإزالة زيـادة الجاذبيـة مـن خـط الاسـتواء إلى الأقطـاب. تتغيـر الجاذبيـة مـع خـط العـرض بسـبب شـكل الأرض الإهليجـي، وبسـبب السـرعة الزاويـة لأي نقطة على سطح الأرض، حيث تصل حدها الأعلى عند خط الاستواء، وتصل إلى الصفر عنـد الأقطـاب.

- **ونتيجة التفلطح في شكل الأرض فإن عجلة الجاذبية عند القطبين تزيد عن قيمتها عند خط الاستواء بحوالي 5.17 جال، ويمكن تفسير هذا الاختلاف أو هذه الزيادة كما يلي:**
- **قوة الطرد المركزي التى تعمل عند خط الاستواء ويغيب تأثيرها عند الأقطاب، وهي تعمل على زيادة عجلة الجاذبية عند الأقطاب بحوالي 3.39 جال.**

- **أي نقطة عند الأقطاب هي أقرب إلى مركز الأرض من أي نقطة عند خط الاستواء، مما يؤدي إلى زيادة عجلة الجاذبية عند الأقطاب بحوالي 6.63 جال.**
- **بسبب معامل شكل الكتلة Mass-Shape Factor للأرض فإن جذب الأرض عند خط الاستواء يكون أكبر منه عند الأقطاب، مما يؤدي إلى نقصان عجلة الجاذبية عند الأقطاب بحوالي 4.85 جال.**
- **وبالتالي، فإن إجمالي التغير في عجلة الجاذبية عند القطب عنه عند خط الاستواء 5.17 = 4.85 – 6.63 + 3.39 جال.**

وكما سبق ذكره، هناك زيادة قدرها 21 كم في نصف القطر الاستوائي عنه عند الأقطاب، وبالتالي نجد أن النقاط القريبة من خط الاستواء أبعد من مركز الأرض عنها عند الأقطاب، مسببة زيادة في الجاذبية من خط الاستواء باتجاه الأقطاب. ومقدار الكتل الأرضية تحت المناطق الاستوائية هي أكبر منها تحت المناطق القطبية.

وعلى ضوء ذلك، نجد أن تصحيح خط العرض 0.812sin 2Ø مليجال/ كم. هذا التصحيح يطرح أو يجمع لفرق الجاذبية المقاسة اعتماداً على موقع خط عرض المحطة من محطة القاعدة. **(يجمع التصحيح إذا كانت المحطة شمال محطة القاعدة، ويطرح إذا كانت المحطة جنوب محطة القاعدة).**

$$^{\delta}g_L = -\ 8.108\ \sin 2Ø \quad g.u.per\ km\ N$$

وفي هذا الصدد، فإن معادلة النظام الجيوديسي المرجعي لحساب عجلة الجاذبية عند أي خط عرض:

- معادلة Helmert
- $g = 978.030\ (1+0.005302 \sin 2\phi - 0.00007 \sin^2 2\phi)$

حيث ϕ هي قيمة زاوية خط العرض.

- المعادلة الدولية International Formula (1930)

$$g = 978.05\ (1+0.0052884 \sin 2\phi - 0.00005 \sin^2 2\phi)$$

كما ذُكر سابقاً، فإن السطح المستوى الذي يمثل بهذه المعادلة للجاذبية يسمى السطح المكور أو مكور الأرض Spheroid

تصحيح الارتفاع (الهواء الحر) Elevation (Free-Air) Correction

تختلف قيمة التثاقلية (الجاذبية) مع الارتفاع وذلك لأن نقطة القياس الموجودة عند منطقة مرتفعة تكون أبعد عن مركز الأرض من نقطة القياس الموجودة في منطقة منخفضة، وبالتالي تزيد عجلة الجاذبية في النقطة الأولى عن قيمتها في النقطة الثانية. ويمكن حساب معدل هذا التغير كالتالي:

قيمة عجلة الجاذبية عند أي نقطة من السطح المكور أو مكور الأرض تساوي:

$g = GM/R^2$ حيث أن (g) هي عجلة الجاذبية و(M) هي كتلة الأرض و(R) هو نصف قطر الأرض و(G) هو ثابت الجذب.

وقيمة التغير الرأسي في قيمة عجلة الجاذبية في الاتجاه (z) تساوي:

$$dg/dz = dg/dR = -2GM/R = -2g/R$$

وبالتعويض عن قيمة عجلة الجاذبية $g = 980.629$ gals وقيمة نصف قطر الأرض $R = 6.367 \times 10^8$ cm نجد أن:

$$dg/dz = -2\,(980.629) / 6.367 \times 10^8 = -0.3086 \times 10^{-5}\ gal/cm = -0.3086\ mgal/m$$

وقد أخذ في الاعتبار لحساب قيمة هذا التصحيح؛ كروية الأرض وتجانسها، ووجد أن قيمة الجاذبية الأرضية تقل بمقدار 0.3086 مليجال/م، أي أنه يلزم إضافة تصحيح قدره $h \times 0.3086$ مليجال لقيمة عجلة الجاذبية الأرضية المقاسة، حيث (h) هي قيمة الارتفاع عن متوسط سطح البحر مقدرةً بالمتر.

يضاف تصحيح الهواء الحر إلى الجاذبية المقاسة إذا كان موقع المحطة فوق مستوى سطح البحر أو (السطح المرجعي أو محطة القاعدة)، وتطرح إذا كان العكس. ويتغير تصحيح الهواء الحر قليلاً مع تغير خط العرض من القيمة 0.3086 مليجال/م عند خط الاستواء إلى 0.3088 مليجال/م عند القطبين.

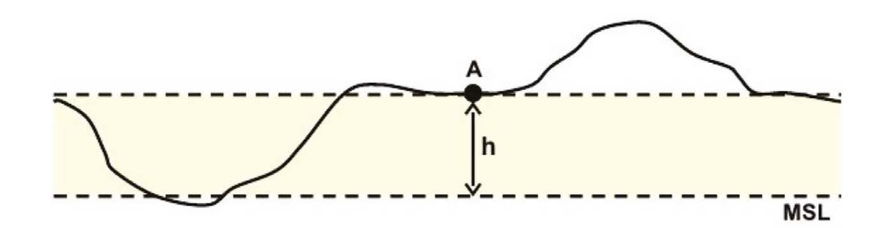
تصحيح بوجير Bouguer Correction

يهدف تصحيح بوجير إلى العودة بقيمة الجاذبية الأرضية المقاسة إلى قيمتها الحقيقية مع الأخذ في الاعتبار ثقل المادة الصخرية بين محطة القياس وسطح الجيوئيد (متوسط ارتفاع سطح البحر)، بالإضافة إلى تأثير الارتفاع نفسه. وقد سُمي هذا التصحيح بتصحيح بوجير نسبة إلى العالم الرياضي الفرنسي بيير بوجير (1698-1758م)، الذي حاول تعيين شكل الأرض. وتطرح قيمة التصحيح من القيمة المقاسة في حالة انخفاض محطة القياس عن سطح الجيوئيد. فهذا التصحيح يمثل قيماً سالبةً فوق المناطق الجبلية، وقيماً موجبةً في قيعان البحر، عكس تصحيح الهواء الحر.

في الاختلاف السابق (اختلاف الهواء الحر)، أُخذ في الاعتبار ارتفاع نقطة القياس فقط فوق سطح الأرض، ولكننا في الواقع لا نقيس عجلة الجاذبية فوق نقطة القياس ونحن معلقون في الهواء، ولكننا نرتفع صاعدين فوق تل أو جبل أو هضبة، ومادة هذه الأرض المرتفعة لها كتلة، ولها بالتالي قوة ثقل (جذب) لأسفل، وهذا ما يُسمى بتغير بوجير. ولحساب قيمة التغير في عجلة الجاذبية العائد لتأثير تلك الكتل التي تعلو سطح الأرض أو سطح المستوى المرجعي Datum، يُفترض أن هذه الكتلة هي شريحة من صخور ذات سمك (h)، وأن سطحها مستوٍ، وكثافة مادتها(ρ). إذاً، ثقل (جذب) تلك الشريحة من الصخور تساوي:

$$g = 2\pi G h$$

$$g_B = + 0.04193 \times \rho \times h \quad \leftarrow \text{Bouguer slab formula}$$



وبالتعويض عن قيمة $G = 6.6732 \times 10^{8}$ إذن :

$$g = 0.04193\ h\ mgals/m \quad or \quad 0.01278\ dh\ mgals/ft$$

أي أن قيمة عجلة الجاذبية تزداد بقيمة 0.04193 مليجال لكل ارتفاع يعادل مترا واحداً من الصخور. أي أن تأثير بوجير يكون دائماً عكس تأثير الهواء الحر.

بعد إجراء تصحيحات البوجير، يمكن حساب ما يسمى شاذات البوجير، وذلك بطرح قيمة عجلة الجاذبية القياسية من قيمة عجلة الجاذبية الأرضية المقاسة بعد إجراء كل من تصحيحي الهواء الحر والبوجير. كما يمكن إنشاء خرائط تسمى خرائط البوجير. وتستخدم هذه الخرائط في أغراض دراسات وبحوث وتطبيقات علم الجاذبية الأرضية.

تصحيح الارتفاع $({}^{\delta}g_E)$ = (الهواء الحر - تصحيح بوجير)

$${}^{\delta}g_E = {}^{\delta}g_F - {}^{\delta}g_B.$$

Substituting in the terms ${}^{\delta}g_F = 3.086h$ and ${}^{\delta}g_B = 0.4192\rho h$

$${}^{\delta}g_E = (3.086 - 0.4192\rho)\ h\ (g.u.)$$

where ρ is the average rock density in Mg/m^3.

تصحيح التضاريس Terrain Correction

لإجراء قياسات دقيقة لعجلة الجاذبية الأرضية، ينبغي وضع تصحيح قيمة عجلة الجاذبية الأرضية المقاسة بالنسبة لطبوغرافية المنطقة المحيطة في الاعتبار. ويسمى تصحيح التضاريس. ومن الضروري إجراء هذا التصحيح للوصول بقياسات عجلة الجاذبية الأرضية إلى دقة عالية تتطلبها بعض الدراسات. وتأتي أهمية هذا التصحيح،

أن تصحيح البوجير تكون عالية نسبياً في حالة قُرب محطات قياس الجاذبية الأرضية من الوديان، وذلك لاشتمال تصحيح البوجير على جذب المادة الصخرية. وحيث أن المادة الصخرية غير موجودة، فإنه يلزم إضافة تصحيح التضاريس لإلغاء جذب المادة الصخرية. أيضاً في محطات القياس القريبة من الجبال تكون قيمة الجاذبية الأرضية المقاسة أصغر من قيمتها الحقيقية، وبالتالي فإنه يلزم إضافة تصحيح التضاريس للحصول على القيمة الصحيحة.

ويجري حساب تصحيح التضاريس باستخدام نظام خاص، يُمكّن من حساب متوسطات الارتفاعات من الخرائط الطبوغرافية ومن استخدام معادلات خاصة. ويضاف تصحيح التضاريس لقيمة تصحيح البوجير. ثم يتم إنشاء خرائط البوجير بعد إجراء هذه التصحيحات.

تصحيح إيتفوش EOTVOS

عندما يثبت جهاز قياس الجاذبية على ظهر سفينة أو طائرة مروحية، يتأثر تسارع الجاذبية التي تقاس بالمركبة الرأسية للتسارع (كوريوليس) Coriolis، الذي هو دالة في السرعة واتجاه حركة المركبة. ولمعادلة ذلك، تضبط بيانات الجاذبية بتطبيق تصحيح إيتفوش Eotvos، والتي سميت على اسم مخترعها الفيزيائي فون إيتفوش Von Eotvos الذي وصف تأثيرها في نهاية الثمانينات من القرن الماضي.

هناك مركبتان لهذا التصحيح، الأولى: تسارع طرد مركزي تعمل للخارج مصاحبة لحركة العربة أثناء سفرها فوق السطح المنحني للأرض، والثانية: هي التغير في تسارع الطرد المركزي الناتج عن حركة العربة بالنسبة لحركة دوران الأرض حول محورها. في

الحالة الثانية، فإن الجسم الثابت على سطح الأرض يسير بسرعة الأرض عند هذه النقطة، ويدور حول محور دورانها في اتجاه شرق - غرب. إذا انتقل هذا الجسم تقل سرعته في اتجاه الشرق (X)، وتزيد سرعته بالنسبة للسرعة الدورانية بالقيمة نفسها. وبالعكس إذا انتقل بسرعة (Y) في اتجاه الغرب، تقل سرعته النسبية بالقيمة نفسها. وبالتالي، أي نقلٍ لجهاز الجاذبية الذي له مركبة في اتجاه شرق - غرب، يكون له تأثير كبير على قياس الجاذبية. أما بالنسبة لأجهزة قياس الجاذبية المنقولة على السفن، فيكون تصحيح ايتفوش Eotvos في حدود 350 g.u. أما بالنسبة لأجهزة قياس الجاذبية المنقولة جواً، حيث تزيد السرعة عن 90 km/h (حوالي 50 عقدة knots)، قد يصل تصحيح إيتفوش Eotvos إلى 4000 g.u.

التفسير الوصفي والكمي لمعطيات الجاذبية

يهدف التفسير الجيولوجي لشاذات الجاذبية الأرضية إلى التعرف على سمك وعمق وكثافة التراكيب الجيولوجية المسببة لهذه الشاذات، فضلا عن الوحدات الحركية (التكتونية) السائدة. وينقسم التفسير الجيولوجي لشاذات الجاذبية الأرضية إلى: تفسير وصفي وتفسير كمي.

يقوم التفسير الوصفي لشاذات الجاذبية الأرضية على وصف الشاذات ومدلولاتها الجيولوجية من حيث:

- **هيئة وشكل الشاذات وامتدادها الإقليمي والمحلي والتراكيب الجيولوجية التي قد تمثلها .**
- **تغير قيم شاذات الجاذبية الأرضية والتراكيب الجيولوجية التي يحتمل وجودها .**

أما التفسير الكمي لشاذات الجاذبية الأرضية فيقوم على تحديد وتعيين نوعية التراكيب الجيولوجية المسببة لهذه الشاذات من الصدوع وأحواض الترسيب.. وخلافه. ولإجراء هذا النوع من التفسير يجب أن يوضع في الاعتبار عنصران مهمان يتميز بهما مجال الجاذبية الأرضية وهما:

- **مجال الجاذبية الأرضية عند نقطة هي محصلة لجميع التراكيب تحت السطحية التي تؤثر في هذا المجال، والتي يتم رصدها بأجهزة قياس الجاذبية الأرضية.**
- **لا يوجد حل أوحد يمكن الحصول عليه من تغير شاذات الجاذبية الأرضية.**

تعرف شاذة التثاقلية Gravity Anomaly في الدراسات الجيوديسية بأنها الفرق بين قيم الجاذبية المقاسة عند محطة ما، وقيمة الجاذبية النظرية حسب المعادلة الدولية عند خط عرض تلك النقطة. وعلى ضوء الهدف من الدراسة، هناك نوعان من شاذات الجاذبية:

1. شاذة الهواء الحر Free Air Anomaly

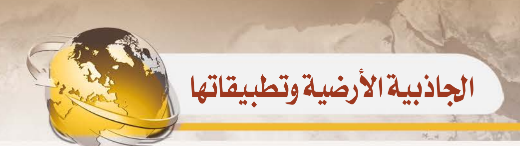
شاذة الهواء الحر = قيمة الجاذبية المحسوبة – الجاذبية النظرية + تصحيح الهواء الحر.

2. شاذة بوجير Bouguer Anomaly

شاذة بوجير = قيمة الجاذبية المحسوبة – الجاذبية النظرية + تصحيح الهواء الحر – تصحيح بوجير + تصحيح التضاريس.

عموماً، فإن شاذة الهواء الحر هي أصغر من شاذة بوجير. وشاذة بوجير على اليابسة في معظم الأحيان تكون قيمها سالبة، وفي المحيطات موجبة. شاذة الهواء الحر تعطي معلومات جيدة عن الجاذبية الفعلية على سطح الأرض، في حين أن شاذة بوجير تعطي معلومات عن الكتل تحت السطحية.

وللحصول على نتائج مرضية من تفسير شاذات الجاذبية الأرضية، فإنه يلزم فصل مجال الجاذبية الأرضية إلى: مجال إقليمي Regional؛ يمثل التراكيب الجيولوجية العميقة والتي لها امتداد اقليمي، ومجال محلي Residual أو Local؛ يمثل التراكيب الجيولوجية ذات الامتداد المحلي والتي تتواجد غالبا في الطبقات الرسوبية للقشرة الأرضية. ولفصل مجال الجاذبية الأرضية تُستخدم طرقٌ مختلفة (يعتمد بعض منها على تسوية خطوط



الكنتور) على خرائط أو قطاعات الجاذبية، ويعتمد البعض الآخر على طرق رياضية وإحصائية. ويلزم الإشارة هنا إلى أن مجالات الجاذبية الأرضية المفصولة تختلف وتتباين تبعاً للطريقة المستخدمة واختلاف الافتراضات والمعطيات. ويجري تحليل كل من المجالين الإقليمي والمحلي كل على حِدة لدراسة التراكيب الجيولوجية الإقليمية والمحلية على الترتيب.

أيضاً، يجب الاستعانة بالبيانات الجيولوجية والجيوفيزيائية المتاحة كافة، للحصول من خلال تفسير شاذات الجاذبية الأرضية، على نتائج تمثل بدرجة من الدقة التراكيب الجيولوجية المسببة لهذا المجال. وينقسم التفسير الكمي لمجال الجاذبية الأرضية إلى قسمين: **الأول** منهما يشتمل على تطبيق عدد من طرق التحليل لشاذات الجاذبية الأرضية مع البيانات الجيولوجية والجيوفيزيائية المتوفرة للحصول منها على عمق وسمك وامتداد التراكيب الجيولوجية تحت السطحية، ويسمى بالتفسير المباشر لشاذات الجاذبية الأرضية. أما **القسم الثاني**: فيقوم على مقارنة شاذات الجاذبية الأرضية المحسوبة لعدد من الأشكال المنتظمة وغير المنتظمة، والتي يمكنها أن تمثل التراكيب الجيولوجية التي يحتمل تواجدها تحت السطح، مع شاذات الجاذبية الأرضية المقاسة، ويسمى ذلك بالتفسير غير المباشر لشاذات الجاذبية الأرضية.

الضغط المتوازن (إيزوستاسي) Isostasy

عندما خلق الله سبحانه وتعالى القارات، بدأت على هيئة قشرة صلبة رقيقة تطفو على مادة الصهير الصخري، فأخذت تميد وتضطرب، فخلق الله الجبال البركانية التي كانت تخرج من تحت تلك القشرة، فترمي بالصخور خارج سطح الأرض، ثم تعود فتثقله إلى الأرض، وتتراكم بعضها فوق بعض مكونة الجبال، وتضغط بأثقالها المتراكمة على الطبقة اللزجة، فتغرس فيها جذوراً من مادة الجبل، فيكون الجذر سبباً لثبات القشرة الأرضية وإتزانها. قال تعالى: ﴿أَلَمْ نَجْعَلِ ٱلْأَرْضَ مِهَٰدًا ۝٦ وَٱلْجِبَالَ أَوْتَادًا ۝٧﴾ [النبأ]. تشير الآية إلى أن الجبال أوتاد للأرض. ومن المعروف أن جزءاً بسيطاً من الوتد يظهر على السطح، والجزء الآخر يكون في معظمه تحت السطح. لقد أثبتت الدراسات العلمية الحديثة أن للجبال جذوراً تمتد داخل المناطق عالية الكثافة لضمان ثباتها واستقرارها.

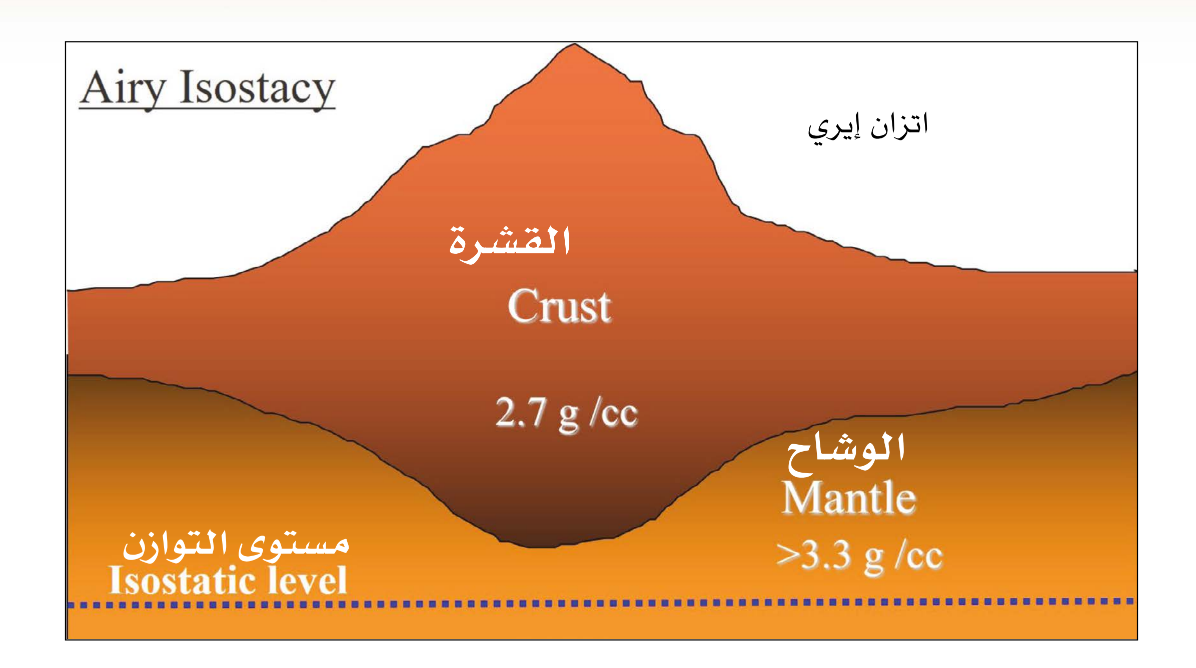
يتلخص مفهوم اتزان القشرة الأرضية في أن أي كتلة تعلو سطح البحر يجب أن تُعادل بنقص في الكتلة تحت سطح البحر وتحت قيعان المحيطات، فالقشرة التي هي أخف كتلة من المعتاد، يجب أن يكون أسفلها كتلة أكبر من المعتاد، بحيث يكون تأثير الوزن الكلي على وحدة المساحة منتظماً، ليتوفر التوازن عند أي عمق تحت الغلاف الصخري. وقد قدم كل من إيري Airy وبرات Pratt تفسيراً علمياً لحالة توازن القشرة الأرضية.

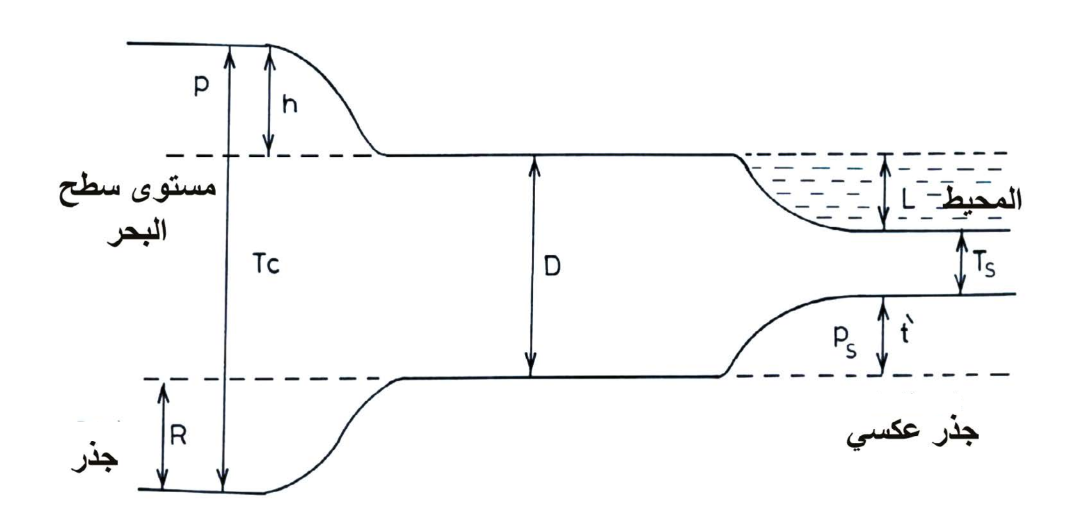
أصبحت نظريتا إيري وبرات (1855 م) حقيقة ملموسة مع تقدم المعرفة بتركيب الأرض الداخلي عن طريق انعكاس وانكسار الموجات الزلزالية. فقد أصبح معلوماً أن للجبال جذوراً مغروسة في الإعماق قد تصل إلى 8 أضعاف ارتفاعها فوق سطح الأرض، أو 5 أضعافها بالنسبة للمحيطات أو البحار. قال تعالى ﴿وَأَلْقَىٰ فِى ٱلْأَرْضِ رَوَٰسِىَ أَن تَمِيدَ بِكُمْ﴾ [النحل 15] وقال تعالى: ﴿ وَجَعَلْنَا فِى ٱلْأَرْضِ رَوَٰسِىَ أَن تَمِيدَ بِهِمْ ﴾ [الأنبياء 31].

وكما تُثَبتُ السفن بمراسيها التي تغوص في الماء، كذلك تُثَبتُ قشرة الأرض بمراسيها الجبلية التي تغوص جذورها في طبقة لزجة، شبه سائلة، تطفو عليها القشرة الأرضية.

نظرية إيري - هسكانين Airy's Theory (1855)

تفترض هذه النظرية أنه كلما كان ارتفاع الجبل عالياً كلما كان عمق الجذر كبيراً. وكذلك فإن المناطق الجبلية البارزة لها جذور إلى الداخل في شكل بروز الجبل، والبحار لها جذور إلى أعلى في شكل عمق البحر. اقترح إيرى Airy أن القشرة الأرضية هي غلاف صلب يطفو فوق طبقة تحت سطحية شبه سائلة ذات كثافة عالية. وتحت الجبال يغوص قاع القشرة الأرضية في هذه الطبقة تحت السطحية أكثر مما هو تحت الأرض التي هي في مستوى البحر، ويكوّن ما يسمى بالجذر. في حين أن قيعان المحيطات تعلو قطاعات رقيقة من القشرة الأرضية. كما هو موضح في الشكل أدناه، والذي يبين مقترح إيرى Airy.


Airy Isostacy
اتزان إيري
القشرة
Crust
2.7 g /cc
الوشاح
Mantle
>3.3 g /cc
مستوى التوازن
Isostatic level


p
h
مستوى سطح البحر
Tc
D
L
المحيط
T_s
p_s
t̀
R
جذر
جذر عكسي

نظرية إيري

وبتطبيق نظرية إيري Airy في المناطق الجبلية نجد أن:

$$\rho h = (\rho s - \rho) R$$

حيث تمثل (ρ) كثافة صخور القشرة و(ρs) كثافة الصخور البازلتية الأكثر كثافة والتي تقع تحت المحيطات و(R) سمك الجذور تحت الجبال و(h) ارتفاع الجبال.

وفي حالة المحيطات تصبح المعادلة على النحو التالي:

$$(\rho - 1.03) h = (\rho s - \rho) \ t`$$

حيث (`t) تمثل سمك جذور المياه

ولحساب عمق التوازن في المناطق الجبلية (TC)

$$TC = h + D + R$$

وعمق التوازن في المناطق البحرية (TS)

$$TS = D - t` - L$$

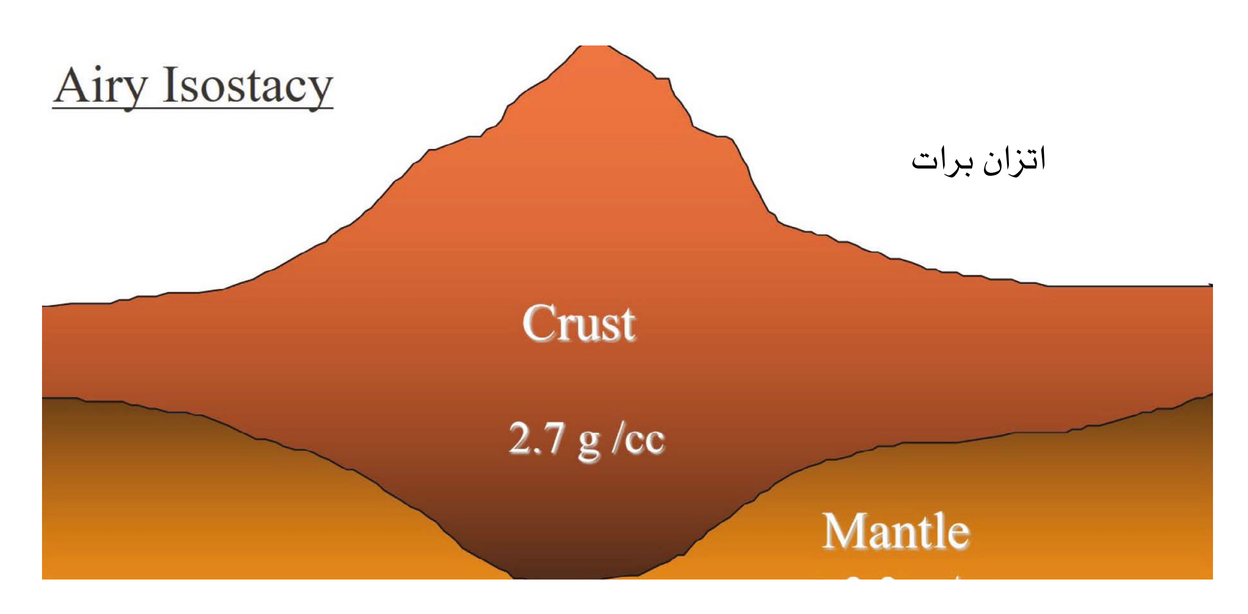
حيث (L) عمق المحيط

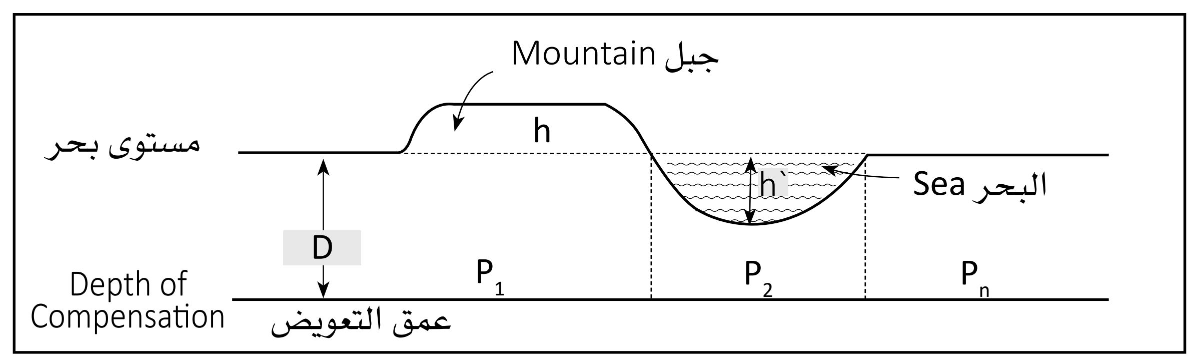
نظرية بـرات (1855) Pratt's Theory

تفترض نظرية بـرات أنه كلما أزداد ارتفاع الجبال فوق سطح الأرض قلت كثافتها بسبب ارتفاع درجة الحرارة في باطن الأرض. ونظراً لاختلاف الكثافة تنشأ الكتل الجبلية وعند عمق معين، يُعرف بعمق التوازن، تتوازن الكثافات والضغوط.

اقترح بـرات Pratt أن الكتلة الزائدة للجبال فوق سطح البحر تتوازن بنقص في الكتلة تحت سطح البحر. ولكنه افترض أن القشرة الأرضية لها سمك منتظم (تحت سطح البحر) مع قاعدتها في أي مكان يسند وزناً منتظماً على وحدة المساحة. وتحت الجبال، هذه الشروط تتطلب نقصاناً في كثافة الصخور الأرضية، وتحت المحيطات، يتطلب أن

تكون كثافة الصخور أكبر من المتوسط لتتوازن مع ماء المحيط ذي الكثافة الأقل من العادي. انظر الشكل التوضيحي التالي الذي يبين مقترح برات Pratt، يوضح الشكل أدناه مقترح برات.





نظرية برات



وعلى ضوء هذه النظرية، نجد أن كثافة الكتل الأرضية تساوي 2.67 جم/سم^3، تحت الجبال، و3 جم/ سم^3 تحت المحيطات، وأن كثافة مياه البحار= 1.03 جم/ سم^3، وارتفاع الجبال فوق مستوى سطح البحر (h)، وعمق البحار (\`h)، وعمق التعويض (D)، نجد أن:

$$h\,(2.67) = D\,(3 - 2.67)$$

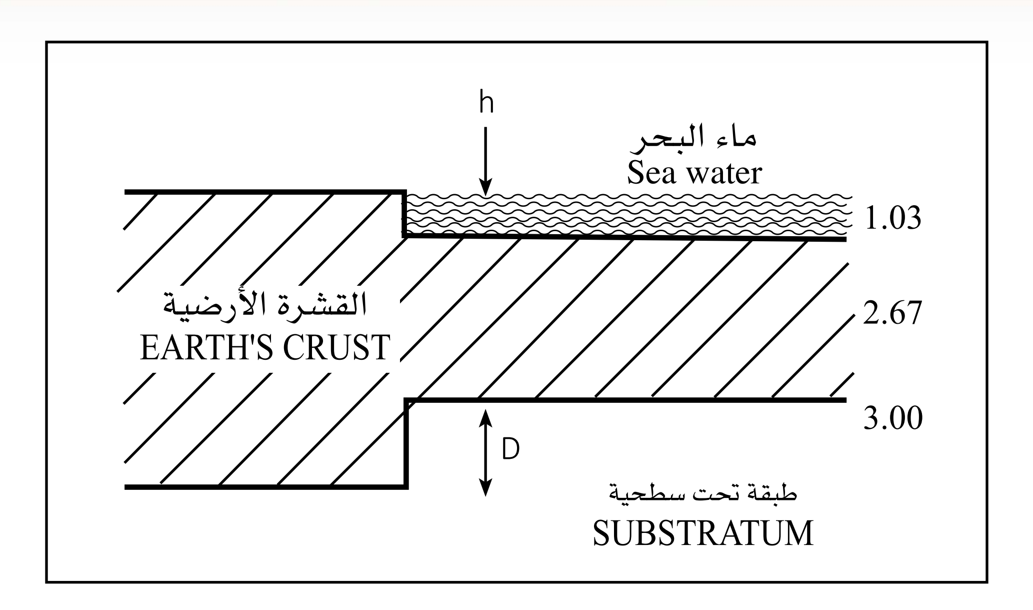
ويمكن حساب عمق التعويض (D) تحت المحيطات حسب نظرية Pratt

$$h\`\,(2.67 - 1.03) = (3 - 2.67)\,D$$

حساب عمق التعويض Depth of Compensation

من المتعارف عليه أن قيم الجاذبية المحسوبة عند أي محطة تتأثر بقوة جذب وكثافة الكتل الجبلية. وتزداد كثافة الكتل الجبلية تحت المحيطات والمكونة في الغالب من صخور بازلتية عنها تحت القارات والمكونة في الغالب من صخور جرانيتية. ويفترض التصحيح المتوازن أن الكتل الأرضية متوازنة وثابتة رغم النتوءات البارزة في بعضها كالجبال وفي الأعماق مثل المحيطات، ولكن هناك وعلى عمق 100 - 115 كم تقريباً تحت سطح الأرض، يوجد المستوى الذي تتوازن فيه كل التأثيرات رغم اختلاف كثافة المكونات فوق هذا المستوى حتى سطح الأرض، وأطلق عليه عمق التعويض (D) Depth of Compensation، فعلى سبيل المثال؛ لو افترضنا أن صخور القشرة الأرضية ذات الكثافة (2.67) جم/ سم^3، وهي تطفو على مواد أكثر كثافة (3.0) جم/سم^3، كما هو موضح بالشكل أدناه ارتفاع الجبال فوق سطح الأرض (h)، نجد أن العمق الذي تتوازن عنده الكتل تحت القارات يعادل تقريباً 8 أضعاف ارتفاع الجبال فوق سطح الأرض.

$$D = 2.67 / (3.0 - 2.67) \sim 8 h$$



يوضح حساب عمق التعويض

أما بالنسبة لحساب عمق التعويض تحت المحيطات، فنجد أن كثافة مياه البحار تساوي (1.03) جم/سم^3، وفرق الكثافة بين مياه البحار وصخور القشرة تحسب على النحو التالي، كما في الشكل أعلاه :

$$D = (2.67 - 1.03) \ / \ (3.0 - 2.67) \sim 5\ h$$

نستنتج من ذلك أن عمق التعويض تحت المحيطات = 5 h ، وتحت القارات = 8 h.

فلو كان معدل عمق المحيطات في العالم = 4 كم تقريباً، فإن هذا يعني أن سمك القشرة المحيطية يجب أن تكون أقل سماكة من القشرة القارية بمقدار 20 كم على الأقل.

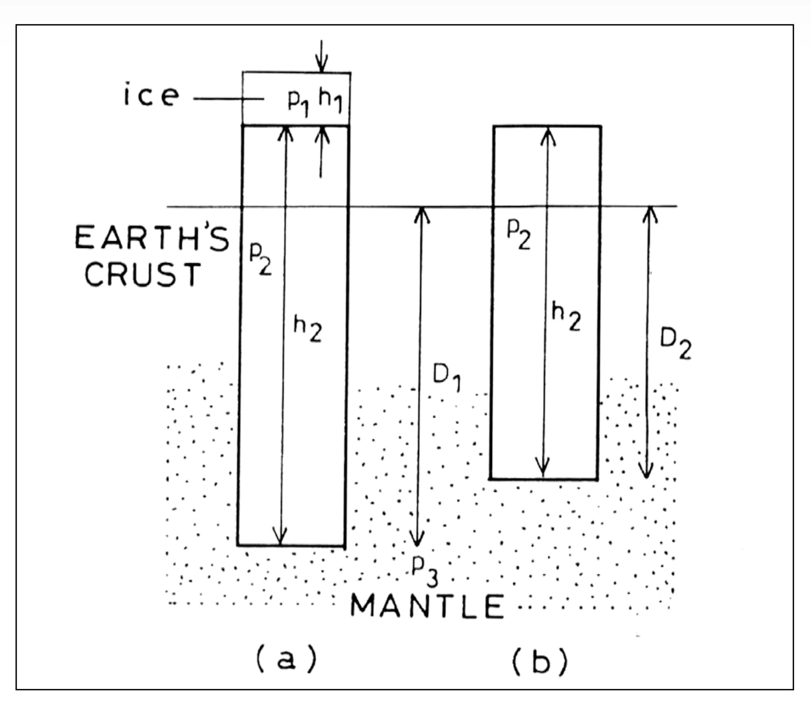
ولو افترضنا أن قشرة الأرض هي في وضع اتزان في الحالتين الموضحتين في الشكل المرفق، الأولى: مع وجود كتلة جليدية، والأخرى بدون كتلة جليدية، فإننا نجد:

في الحالة الأولى: وجود كتلة جليدية.

$$\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 = \rho_3 D_1$$

في الحالة الثانية: بدون كتلة جليدية

$$\rho_2 h_2 = \rho_3 D_2$$



حساب عمق التعويض مع وجود كتلة جليدية (**a**) وبدون كتلة جليدية (**b**)

وبطرح المعادلتين السابقتين نجد أن

$$\rho_1 h_1 = \rho_3 (D_1 - D_2)$$

وبالتالي فإن سمك الكتلة الجليدية

$$h_1 = \rho_3 (D_1 - D_2) / \rho_1$$

$(D_1 - D_2)$ تمثل كمية رفع الأرض.

يتضح مما سبق أهمية تصحيح الجاذبية للضغط المتوازن isostasy لحساب الشكل والحجم الحقيقي للأرض.

الجاذبية الأرضية من المنظور التاريخي

اليونانيـــون والرواقيـــون

إنّ محاولة تأويل الإنسان البدائي حركة سقوط حجر بأنّ وراءها قوةٌ خفيةٌ، كان ناتجاً عن نظرته الخاطئة إلى المادة التي تكوّن منها الحجر، وإلى جهله بعلاقة هذا الحجر مع بقية الأجسام من حوله، إنّه ناتج عن خطأه في التمييز بين المادة الساكنة، والقوة اللامادية ذات حقل التأثير والتي تملك القدرة على التحريك عن بعد. ويبدو أنّ كل ما فعلته المثاليات الفلسفية لسقراط وأفلاطون وأرسطو وحتى أفلوطين هو الإبقاء على هذا التصور (الألوسي، 1981م).

لقد حاول اليونانيون فهم ظاهرة الجاذبية وتفسيرها، لكن هذا التفسير جاء وفق ما تبنته فلسفتهم من عقائد أحياناً، أو وفق منطقٍ عقلاني أحياناً أخرى.

يحاول أن يفسر أناكسمندار تكوين الأشياء تفسيراً آلياً؛ أي بمجرد اجتماع عناصر مادية وافتراقها بتأثير الحركة، دون وجود علة فاعلة متمايزة ودون غائية، وهو يكاد يقول بفكرة الجاذبية لولا أن رأيه يرجع - على حد تعبير أرسطو - إلى أن الأرض المستقرة في مركز العالم تشبه رجلاً يهلك جوعاً لأنه لا يجد سبباً يحمله على الأكل من طبق دون طبق آخر من مجموعة أطباق تحيط به على مسافة واحدة (كرم، 1936م). وقد جاء تصوره عن الأرض على شكل أسطواني أو مخروطي نسبة قمته لقاعدته 3:1 وهي غير مرتكزة إلى حامل بل معلقة بالفضاء بفعل ما يشبه الجاذبية (مطر، 1998م).

لقد جاء رأي أناكسمندار في الجاذبية رداً على ما طُرح بشأن موقع الأرض، الذي عد الأرض ليست مقامة على الماء ولا على أي شيء، وإنما يعود ثباتها إلى بعدها المتساوي عن جميع الأشياء الأخرى، ويعلق فيلسوف العلم كارل بوبر K.Popper قائلاً: إن افتراض طفو الأرض فوق الماء كسبب لثبات الأرض يؤدي إلى ارتداد لا نهاية له، لأننا يجب أن نضع افتراضاً مماثلاً يشرح سبب ثبات الأرض من خلال البحث عن دعامات واحدة للمحيط المائي وأخرى للدعامة نفسها وهكذا... لذلك كانت محاولة طرح فكرة الطفو غير مجدية فهي تحل مشكلة بإيجادها لمشكلة مماثلة. وهو ما دفع بأناكسمندار لطرح التماثل الداخلي لبناء العالم، حيث لا يوجد اتجاه معين لحدوث الانهيار، وطالما أنّ أبعاد الأرض متساوية فلن يحدث تغير في وضعها، والنتيجة هي الثبات. لكن نظرية أناكسمندار تتعارض مع الملاحظة ويصعب تصورها، وهو نفسه لم يتصورها بصورة كاملة، فقد قادته نظرته في تساوي الأبعاد إلى أنّ الأرض لها شكل الأسطوانة بدلاً من الكرة، وأننا نعيش على أحد سطحي هذه الأسطوانة (عويضة، 1995م).

ظهر مفهوم التجاذب المادي عند إنبيدوقليس في سياق نظريته عن المحبة والكراهية؛ فالكراهية عندما تتسرب إلى الكرة الأصلية وتفك وثاق الوحدة وتدع العناصر حرّةً، فإنّ هذه العناصر لا تبقى في حالة فوضى وإنما تطيع ميلها الطبيعي بفعل المحبة والشبيه يجذب الشبيه. هذا القانون يحكم الظاهرات الطبيعية والكائنات العضوية على حد سواء؛ حيث إنّ إنبيدوقليس لا يفصل بين الحياة الروحية وبين الكونيات الطبيعية فكلها تملك ميلاً طبيعياً للتجاذب والتنافر، يقول في ذلك: «وكل هذه الأشياء (أي الشمس والأرض والسماء والبحر)

تتصل في ائتلاف بأجزائها التي تناثرت عنها بعيداً في صورة الأشياء الفانية، وبالمثل، كل الأشياء الأكثر ملائمةً للامتزاج فإنها تتشابه وتوحد أفروديت فيما بينها بالمحبة، أما تلك الأشياء التي تختلف في الأصل والامتزاج والشكل الذي تشكلت به فهي شديدة التنافر ولا تميل أبداً إلى الامتزاج وفي غاية الأسف لخضوعها للغلبة التي هي أصل وجودها» (علي، 1985م).

ينسب إلى أنكساغوراس قوله: إنّ السماء كلها مكونةٌ من أحجار وأنّه ثمة حركة دورانٍ مستمرةٍ تمسكها عن السقوط وإذا كفّت هذه الحركة فإنّ هذه الحجارة سرعان ما تسقط (مطر، 1998م). كما ينسب إليه القول بوجود الخلاء وقوته الجاذبة للأجسام (بينيس، 1948م). أي أنّه يعتقد بوجود قوة جاذبة في الخلاء لكن ليس على أساس أنها خاصية من خصائص الأجسام المادية، بل من خصائص الخلاء.

ذهب أرسطو إلى أنّ الأرض تطفو على الماء كالسفينة (عويضة، 1995م). ووفقاً للمفهوم الفيزيائي الأرسطي فإن الأجسام الأرضية إما أن تكون ساكنة أو متحركة في خطوط مستقيمة أو بطريقة غير منتظمة، وقد كانت النتائج الحركية للبنية الخاصة بالمنطقة الأرضية تجزم بأنّ حركة أي جسم – سواء كان ثقيلاً أو خفيفاً– تكون نحو مركزه الطبيعي ويبقى ساكناً بشرطٍ ألا يعاق عن هذا السلوك أو يجبر بحركةٍ قسرية؛ لذلك يجب اعتبار رؤى أرسطو في الديناميك جزءاً من غاياته؛ فالجسم الثقيل مثلاً والذي يكون في غير مكانه الطبيعي يسعى لينتقل من حالة ثقله بالقوة إلى ثقله الفعلي وينجز ذلك بالسقوط للأسفل (Sambursky, 1975).

في عالم تحت القمر تتركب الأجسام من العناصر الأربعة، ويستدل أرسطو على وجود هذه العناصر البسيطة بالطريقة نفسها التي استدل بها على وجود الأثير عند بحثه في السماء، وقد خص هذا الأثير بالحركة الدائرية البسيطة، أما الحركة الأخرى البسيطة فهي الرأسية وهي التي تتقبل الأضداد لأنها تستدعي فكرتي الأعلى والأسفل، أي تتجه إلى سطح الكرة الأرضية ومركزها، والذي يتحرك من العناصر إلى أعلى هو الخفيف المطلق أو النار، والذي يتحرك إلى أسفل هو الثقيل المطلق أو التراب، وإلى جانبهما يوجد خفيفٌ نسبي هو الهواء وثقيل نسبي هو الماء. أما علة الحركة في هذه العناصر فهو مبدأ الطبيعة الموجود فيها مباشرة وبالماهية، وتكون حركتها وفقاً للطبيعة حين تتجه إلى مكانها الطبيعي كأن يتجه الخفيف إلى أعلى والثقيل إلى أسفل، ولكنها قد تتحرك حركة مضادةً للطبيعة بفعل العنف أو القسر وذلك حين تتجه بفعل محرك خارجي في عكس اتجاهها الطبيعي كأن يتحرك التراب نحو الأعلى على سبيل المثال (مطر، 1998م).

تكون غاية المادة اللاعضوية خارجةً عنها، أما الصورة فإنها لم تدخل فيها على الإطلاق وتبقى خارجها، ومن ثم فإن نشاط الهيولي (المادة الخام) اللاعضوي ليس إلا الحركة في المكان نحو غايته الخارجية وهو ما نسميه نحن اليوم بالجاذبية، ولكنّ أرسطو يرى أن كل عنصر له حركته الخاصة والطبيعية، وغايته إنما يجري تصورها مكانياً فحسب، ونشاطه هو الحركة نحو (وضعه المناسب) وعندما يصل إلى غايته يستقر (ستيس، 1984م).

ويسوق لنا أرسطو مثالاً على ذلك بأنّ حركة النار الطبيعية تكون نحو الأعلى، وهو ما يمكن أن نسميه بمبدأ التطاير للأعلى مقابل الجاذبية التي

تسحب للأسفل، وقد تعرض أرسطو للنقد بسبب استخدامه المتكرر للطبيعي واللا طبيعي، لكن استخدامه لكلمة (طبيعي) لا يدل على نقص تفكيره وإنما ثمة فكرة أراد أن يوصلها لنا، مع أننا نعلم خطأه في العديد من الحقائق، فمثلاً ليس ثمة مبدأ للتطاير للأعلى في الكون كما يقول، وإنما يوجد مبدأ للجاذبية وعندما يقول إنّه من (الطبيعي) للأرض أن تتحرك للأعلى فإنّه لا يعني أنّ هذه الحقيقة مألوفة؛ بل أن مبدأ الصورة أو عقل العالم يكشف نفسه هنا فيبحث عن حركةٍ بلا هدف ولا غاية نسبياً في خطٍ مستقيم وعموماً ليست بلا غاية على نحوٍ مطلق، فلا يوجد شيء في الكون هكذا، والفرض هنا هو أن حركة الهيولي نحو غايتها قد لا يكون صادقاً أو غير صادق لتفسير الجاذبية، ولكن هل كان وقتئذ أحد لديه تفسير أفضل؟ (ستيس، 1984م).

وهكذا؛ فالأشياء - بحسب أرسطو - بطبيعتها ثابتة وساكنة، وهي لا تتحرك إلا للعودة إلى مكانها الطبيعي؛ فالحجر مكانه الطبيعي هو الأرض، ولذا يسقط إليها وتتناسب سرعته مع وزنه. أما النار والبخار فإن مكانهما الطبيعي في السماء ولذا يرتفع الدخان إليها (صادق، 2003م).

لقد قدم غاليليو فيما بعد تساؤلاً يبرهن بوساطته على خطأ فرضية أرسطو منطقياً، وذلك عن طريق إحدى شخصياته التي تسأل: وماذا لو لصقنا حجراً ثقيلاً بحجر خفيف؟ إنّ الجواب عن هذا كما يزعم أرسطو سيكون نتيجتين متناقضتين؛ فالحجر الخفيف سيعطّل بسرعته البطيئة الحجر الثقيل، وسرعة المجموع ستكون أقل من سرعة الحجر الثقيل، وفي الوقت نفسه فإنّ الحجر الناتج عن لصق الحجرين سيكون أثقل وعلى هذا فالمفروض أن تكون سرعته أكبر (صادق، 2003م).

يعتقد الرواقيون أصحاب زينون القبرصي أنّ اللّه يحوي العالم بالقوة التي فيه، وهذه القوة هي في الوقت نفسه تعقُّل وعقل، ويترتب على ذلك أن يوجد العالم وسط فراغٍ لا متناه، دون خشية التشتت، دون أن يكون فيه هو نفسه بالمقابل أي فراغ؛ إذ لا وجود لأيّ محل طبيعي غير ذاك الذي تختاره القوة لنفسها. ثم إنه «إذا كان العالم محتوىً من قبل نفس واحدة، فمن الضروري أن يكون (ثمة) تجاذب بين الأجزاء التي يتألف منها، وبالفعل؛ إنّ كل حيوانٍ ينطوي في داخل ذاته على تجاذب من هذا القبيل، بحيث أننا إذا ما عرفنا تناظم بعض أجزائه أمكننا أن نعرف بوضوح تناظم الأجزاء الأخرى. فإن كان هذا واقعاً، استطاعت الحركات نقل تأثيرها مع وجود المسافات؛ إذ إنّ الحياة واحدةٌ، وهي تنتقل من العوامل إلى الجوامد». هذا التجاذب العام لعالم كل شيء يأتلف فيه يميز تمييزاً مبتوراً عالم الرواقيين عن عالم أرسطو المترتب هرمياً؛ فعالمهم أشبه بجسم كروي، والأرض وكلّ ما عليها من سكان تتلقى التأثيرات السماوية (برهييه، 1998م).

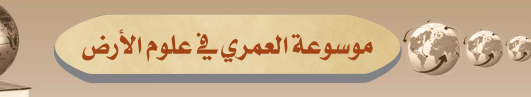
إنّ المبدأ الأساسي الذي تنطلق منه الفلسفة الرواقية هو (الوجود) فهو المبدأ المطلق والأول للأشياء (عويضة، 1994م). وقد بنوا نظريتهم في الوجود على أساس غائي، وتطورت أحاديتهم إلى أن أصبحت وحدة وجود، ويخضع موقفهم في تفسير الطبيعة لهذه المبادئ التي أقاموا عليها مذهبهم، فهم يرون أن الأجسام هي الحقائق وحدها، ذلك لأن الموجود الحقيقي هو ما يفعل وما يستمر في الزمان، والأجسام لها هاتان الصفتان، فهي إذاً موجودات حقيقية. وعليه؛ فإنّ الأجسام والإنسان والألوهية مكونة من مادة، وحتى الصفات التي نقول إنّها غير حسية، هذه الصفات مكونة من الجسيمات ومن تيارات

هوائية تنفذ خلالها وتمنحها التوتر والتماسك. ويصدق الأمر على الحركة، وكذلك الخلاء والمكان والزمان أجسام، ومع قولهم بالمادة إلا أنهم يميزوا بين المادة والقوى التي تعمل فيها، فالمادة وحدها تكون بدون صفات، أما الصفات والأشياء المشتقة من القوة المعقولة المسماة (باللوغوس) فهي التي تنفذ خلال المادة (أبو ريان، 2000م).

وهكذا فقد ظهرت فكرة (الفعل عن بعد) لكن بصورته المشوهة، وذلك عندما طرح الرواقيون مذهبهم في التداخل المطلق حيث لا يبقى الجسم الداخل في جسم آخر كما هو دون انقسام. فهم يقولون إنه ليس ثمة بُعد، لأن الأشياء توجد في بعضها بعضاً، فلا حاجة إلى إثارة (الفعل من بعد) لأنّه ليس موجوداً في الواقع. وكل شيء متصل بالآخر، فلا بعد إذاً بين شيئين (بدوي، 1970م).

لقد أهمل ستراتون نظرية أرسطو عن الأمكنة الطبيعية ونظريته عن العلة الغائية وقال بقوة فاعلة هي (الثقل)، وقد ذكر أنّ قوة الشيء الثقيل تزداد مع بعد المسافة عند سقوطه، وبناء عليه عدل ستراتون مواضع العناصر الأربعة. كذلك فإنه لم يقبل قول أرسطو بثبات الصورة (أبو ريان، 2000م).

لقد تأثر علم الطبيعة بالروح الفلسفية التي أشاعتها المدرسة الرواقية. فبعد أن استقل عن الفلسفة، واتخذ منهجاً وضعياً ميكانيكياً على يد ستراتون اللمباسكي، عاد ليقبل المبادئ الميتافيزيقية (الخاصة بما وراء الطبيعة)، ويدخلها في تفسير أبسط ظاهرات الطبيعة وأهمها، فظاهرة مثل المد والجزر أصبحت تفسر على أنها نوع من التعاطف الكوني، أساسه حضور العقل الإلهي في العالم كله، ويعمل هذا العقل على ربط ظاهرات العالم فيما بينها (بلدي، 1962م). وفكرة التعاطف الكوني قائمة على أساس أنه لولا وجود قوة تمسك المادة

وتحافظ على وحدتها لما عرفت المادة الانسجام، ولولا المادة لما عرفت القوة الانسجام أيضاً (سعيّد، 1993م).

إنّ أفكار ستراتون اللمباسكي عن الجاذبية والفراغ مهمّة ولكنها كانت قاصرة عن التفسير (جيل، 1996م)، إذْ لا نملك سوى تكهنات حول جهوده في هذا الموضوع، إحداها اعتباره السرعة اللحظية للجسم الساقط تتناسب مع المسافة المقطوعة من لحظة بدء الحركة، وهي العبارة التي ستظهر مرة أخرى لدى ابن الهيثم، ومن المحتمل جداً أنّه رفض التمييز بين الأجسام الخفيفة والثقيلة التي تسقط نحو الأسفل، أي أنّه عارض أرسطو في هذا الموضوع، انطلاقاً من أنّه تنشأ حالة تدفع فيها الأجسام إلى الأعلى بوساطة أجسام أخرى أثقل منها فتبدو الأخرى وكأنها خفيفة، لكن من المشكوك فيه أنه قد ميز بين الثقل المطلق والثقل النوعي (فوربس، 1992م). نشير أخيراً أنّه كان لهيبارخوس آراء وأفكار مماثلة لأفكار ستراتون اللمباسكي، وقد وضعها في كتابه عن (الأجسام الساقطة التي تجذب إلى أسفل بثقلها) (فوربس، 1992م).

يرى محقق كتاب (ميزان الحكمة) للخازني الباحث فؤاد جميعان أنّ الباب الثاني من الكتاب مفقود في نسخته، لكنه يبحث في نظريات أقليدس، وأن أقليدس بحث في القانون القائل: إنّ الجاذبية تعمل على جسم ما بنسبة مباشرة إلى وزنه (الخازني، (د.ت)). وبخصوص الكتاب الذي ينسب إلى أقليدس والذي يحمل عنوان (في الثقل والخفة)، فيجزم الباحث سعيد سعيدان بأنه ليس لأقليدس، لأن فكرة الوزن النوعي لم تكن قد نضجت قبل أن يتطرق لها أرخميدس (سعيدان، 1961م).

يُحسب فناطيوس Posedenus (129-204 ق.م) على المدرسة الرواقية الجديدة، وهو يرى أنّ وحدة الكون تتراخى: فالاحتراق الكلي، الذي كان أشبه برمزٍ لقدرة الكلّية العقل، قد نفي؛ فالعالم الرائع الجمال، والعظيم الكمال، سيحافظ إلى أبد الآبدين على نظام مماثل للنظام الذي نعانيه. وبنفي الاحتراق الكلي يسقط التجاذب الكوني ويعد وهماً لذلك نراه يتساءل: هل «نفترض أن تأثير النجوم يمكن أن يمتد، عن مسافة تكاد تكون لا متناهية، إلى القمر، أو حتى إلى الأرض؟» (برهييه، 1998م).

انطلق بوسيدونوس Posedenus (135–51ق.م) من فكرة التعاطف الكوني ليقدم لنا ربما أول تفسير لحركة المدّ والجزر من خلال ربطها بأطوار القمر (سعيّد، 1993م). وقد كُتب لفكرة التعاطف الكوني أن تظهر مرة أخرى لدى بعض الفلاسفة الطبيعيين في عصر النهضة الذين يؤمنون بأن الأجسام يمكن أن تؤثر على بعضها بعضاً عن بعد، عن طريق قوى سحرية من التعاطف، أو التجاذب والتنافر. يقول مارسيلو فيشنو M. Ficino في شرحه لكتاب (المأدبة) لأفلاطون: «كل قوة السحر تنطوي على الحب، إن عمل السحر هو انجذاب شيء إلى آخر بفضل تعاطفهما الطبيعي. إن أجزاء العالم تشبه أعضاء الحيوان، موحدة فيما بينها في طبيعة واحدة، ومن علاقاتها المشتركة يولد حب مشترك ومن هذا الحب يولد تجاذبٌ مشتركٌ، وهذا هو السحر الحقيقي.. وهكذا؛ (فإن) حجر المغناطيس يجذب الحديد، والعنبر يجذب القش، والكبريت يجذب النار، والشمس تسحب الأوراق والأزهار باتجاهها، والقمر يجتذب البحار» (الشوك، 2004م).

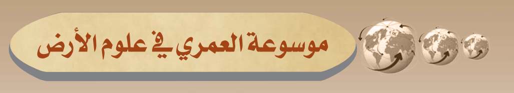
لم يتبنَّ هيرون السكندري مفهوم أرسطو عن الجاذبية بشكل كامل، وإنّما كان يعتقد أنّ الأجسام الأثقل وزناً تقع بصورة أسرع وأنّ لشكلها بعض الأهمية. ويرى بأنّه «يجب على من يريد التعرف على الفن الميكانيكي أن يعرف الأسباب التي تكمن خلف كل حركة» (جيل، 1996م). وقد ركّز هيرون على مفهوم الجاذبية لأنه مفهوم أساسي لكل ميكانيكيّ تطبيقي، لذلك يجب أن يلمّ بها وبأثرها.

لقد وضع فلوطارخوس Plutarch (توفي بعد 120م) رسالةً بعنوان (على وجه القمر) وهي عبارةٌ عن محادثات عن موضوعاتٍ دينيةٍ وعلميةٍ بين أصدقاء هم أنصارٌ لطرائق فلسفية مختلفة. الموضوع الرئيس فيها هو القمر، وقد ضمنها فلوطارخوس فرضية عن الطبيعة العامة للجاذبية (Sambursky, 1975). وتكمن أهمية هذه الرسالة أنّها تعالج مسألة التجاذب الحاصل بين القمر والأرض بمنطق علمي يبتعد عن الأساطير والخرافات، ويرتكز على المعارف العلمية التي وصلت إلى ذلك العصر. سنركز فيما يأتي على أهم الأفكار الواردة فيها والمتعلقة بموضوع الجاذبية وكيفية تفسيرها من قبل فلوطارخوس.

ينسب فلوطارخوس سبب بقاء القمر في مداره إلى السرعة الدورانية التي يقوم بها معتبراً أن تأثير الثقل يلغي بسبب الحركة الدورانية، يقول في ذلك: إنّ «الذين يقعون تحت دائرة القمر، يخشون أن يسقط هذا الثقل الكبير عليهم، إلا أنّ القمر يُصان من السقوط بحركته الفعلية وسرعة دورانه تماماً مثل القذائف الموضوعة في مقاليع، والتي تمنع من السقوط بكونها تدور بسرعة حول دائرة، لأنّ كل شيء يوجه بحركته الطبيعية إلا إذا انحرف بوساطة شيء ما آخر. وهذا هو السبب في أنّ القمر لا يوجه بثقله، إنّ تأثير الثقل يبطل بالحركة الدورانية. ليس هذا فحسب بل سيوجد سببٌ إضافيٌ ربما نتساءل إذا كان ثابتاً وغير متحرك على نحو مطلق مثل

الأرض، في الواقع حين يملك القمر سبباً حقيقياً لأن يتحرك في هذا الاتجاه، فإن تأثير الوزن وحده يمكن أن يحرك الأرض على نحو معقول، بما أنه ليس لها أي دور في أي حركة أخرى، والأرض أثقل من القمر ليس من حيث حجمها الأكبر فحسب، وإنما بقدر ما أصبح القمر خفيفاً بتأثير الحرارة والنار.

وباختصار يبدو أن رواياتك (يبدو أن الرسالة كانت موجهة لشخص ما لم يذكر فلوطارخوس من هو) تعد القمر، إذا كان ناراً، يقف محتاجاً للأرض التي تشكل مادة تخدمه ويتقيد بها ويتماسك، وكشيء ما يمكن إشعاله بها، لأنّه من المستحيل تخيل نار يبقى عليها بدون وقود. لكن أنتم الناس تقولون إنّ الأرض تثبت دون سبب أو قاعدة، من غير ريب تفعل قال فارناسيس بأخذ مكانها الطبيعي والملائم لها: الوسط. فهو المكان الذي تنزع طبيعياً كل الأثقال لتحتشد قبالة بعضها بعضاً حوله وتتحرك نحوه وتتقارب من كل اتجاه، في حين أن الفضاء الأعلى، حتى إذا تلقى شيء ما ترابي قذف على نحو قسري إلى فوق فإنه يقذفه توّاً إلى منطقتنا أو بالأحرى يدعه يمضي حيث تسبب له نزعته الخاصة أن يهبط طبيعياً... إذا كان كل جسم ثقيل يتقارب نحو النقطة نفسها وينضغط في كل أجزائه على مركزه الخاص، فإنه كمركز لمجموع الأشياء ليس أكثر منه كوحدة كاملة، كذلك الأرض ستستولي لنفسها على الأجسام الثقيلة التي تكون أجزاء من نفسها، كما أن النزعة إلى أسفل للأجسام الساقطة تثبت أن الأرض ليست هي مركز الكون، وإنما تلك الأجسام التي تدفع بعيداً عن الأرض تسقط عائدة إليها ثانية تمتلك إلى حد ما إلفه والتصاق إليها. لأنه كما تجذب الشمس إلى نفسها الأجزاء التي تتكون منها، كذلك فإن الأرض تقبل أيضاً بوصفها خاصتها، الحجر الذي يملك نزعة نحو الأسفل تماماً، وبناء على ذلك فإن كل شيء يلتحم ويتحد في النهاية معها» (Sambursky, 1975).



إذاً تبدو أطروحة فلوطارخوس في الجاذبية منطقيّة جداً، وتفوق كل الطروحات اليونانية التي سبقتها، فالتماسك في الجرم الواحد (سواء كان شمساً، قمراً، أرضاً) يدلّ على التجاذب الداخلي، كما يدل حال الكون على وجود علاقةٍ بين هذه الأجرام فيما بينها.

أشار بطليموس إلى وجود تفاعل بين الأجرام السماوية معتقداً أنّه هو ما يجعل الأجسام تقع على الأرض متجهةً نحو مركزها، وأنه هو الذي يربط كواكب السماء بعضها ببعض (طوقان، 1941م). وقد تناول في كتابه (المجسطي) الفصل السابع الحديث عن سقوط الأجسام بطريقةٍ أرسطية وخلص إلى أنّ فكرة سقوط الأرض – كونها جسم – أسخف من أن تناقش!: «وفيما يتعلق بالمواد المركبة في الكون فإنّ تلك التي تكون خفيفة ومركبة من جسيمات ناعمة سوف تندفع نحو الخارج إلى المحيط التي تبدو كأنها تتحرك في اتجاه (الفوق) – تماماً كما نستخدم كلمة فوق رؤوسنا– نحو المحيط. أما المواد الثقيلة التي تتكون من مركبات خشنة فإنها تتحرك نحو المركز وتبدو كأنها تسقط نحو الأسفل (التحت)، كما نقول تحت أقدامنا، حيث تتجه نحو مركز الأرض. إن نزعتها الاعتيادية نحو المركز تكون بدون شك ناشئةً عن ضغوطٍ وضغوط مضادة تؤثر في بعضها بعضاً بصورةٍ متساوية وعلى نحو منتظم من كل الجوانب. وعليه؛ ليس من الصعب أن نفهم أنّ الكتلة الصلبة الكاملة للأرض والتي تكون كبيرةً جداً جداً بنسبة الأجسام الساقطة نحوها تمتص سقوطها ولا تحرك بصدمة أثقالها الصغيرة جداً، خصوصاً وأن هذه الأثقال تمارس ضغطها من كل الجهات بالتساوي. ولو كانت الأرض لديها النزعة ذاتها للسقوط مثل الأجسام الثقيلة الأخرى فإنها سوف تتجاوزها كلها بوضوح في حركتها نحو الأسفل بسبب حجمها الزائد بشكل كبير جداً عن أحجام الحيوانات والأجسام الثقيلة الأخرى التي

ستصبح في الوراء عائمةً في الهواء، وفي النهاية فإن الأرض ستصبح سريعاً إلى حدٍ كافٍ خارج السماء تماماً. إنّ هذا أمرٌ سخيف أكثر مما ينبغي حتى نفكر بشأنه» (Sambursky, 1975). وسنجد لاحقاً أنّ نيوتن قد استسخف فكرة وجود قوة مؤثرة عن بعد بين جسمين دون وجود وسيط، والغريب أن يصدر «استسخاف» لقضايا جوهريةٍ من قامات لها باعٌ طويلٌ وقدمٌ راسخةٌ في العلم.

وضع الإسكندر الأفروديسي (رسالة في القوة الآتية من حركة الجرم الشريف إلى الأجرام الواقعة تحت الكون والفساد)، وقد قال: «إنّ كلّ كوكب ذو نفس وطبع وحركة من جهة نفسه وطبعه ولا يقبل التحريك من غيره أصلاً، بل إنما يتحرك بطبعه واختياره، إلا أن حركاته لا تختلف لأنها دوريّة» (وجدي، 1971م). وهو يقرر بذلك ألا تأثير للأجرام على بعضها، وإنما تتحرك بمحض إرادتها، وكأن لها نفوساً حية تدير شؤونها وتقرر جهة حركتها، وقد قدم لنا الإسكندر فرضية أخرى تسعى لتفسير الخفة والثقل في الجسم، تقول إنّ الجسم الثقيل الذي يوضع على ارتفاع ما يصبح أخف، وهذه الخفة تحصل في بداية السقوط ومن ثم تتلاشى شيئاً فشيئاً (Dugas,1957). وهي فرضية ربما كانت مأخوذةً عن الطروحات اليونانية السابقة التي تقتضي بخفة الجسم المرتفع عن الأرض، وثقل الجسم القريب منها.

طرح أفلوطين فكرة ارتباط الكتل بالقوى والعلاقة الطردية فيما بينهما، وربما كان الطرح الأول من نوعه، إذْ يقول: «ثم إنه لو كانت القوى أجساماً لوجب أن تكون للقوى الشديدة كتل كبيرة وألا يكون للقوى الضعيفة إلا كتل صغيرةٌ، على أننا قد نرى للكتل الكبيرة قوى ضعيفة ولأصغر الكتل أكبر القوى في كثير

من الأحيان فلا بد عندئذ أن ننسب فعلها إلى شيء غير الامتداد أي إلى غير الممتد» (أبو ريان، 2000م). وكما نلاحظ هنا أنّ مفهوم القوة بدأ يأخذ معنىً فيزيائياً أكثر دقة، عندما ربطه بالكتلة، وهو معنى يختلف عما كان يقصده أرسطو عندما ربط مفهوم القوة بالفعل، حيث كان يقصد به القدرة الكامنة المختزنة التي لا يظهر أثرها إلا بعد انتقالها للفعل. ولكن هل كان مفهومه للكتلة كما فهمه نيوتن؟ من غير الواضح، ولا نستطيع أن نجزم بذلك فعلاً؛ إذ ربما كان مثل غيره كان يقصد به وزن الجسم، وليس على أساس أنه قياسٌ لمقدار الجهد المطلوب لتغيير حركة الجسم، بمعنى لجعله يتسارع أو يتباطأ.

ثم طرح أفلوطين نظريته بشكلٍ أعم بجعله كل وجود لا يكون فيه اتحاد الأجزاء كاملاً فإنّ هذا يفترض وجود وحدةً أكثر كمالاً فوقه؛ ومن ذلك أنّ التجاذب المتبادل بين أجزاء الجسم الحي أو أجزاء العالم يفترض وجود وحدة أتم فوقه، هي وحدة النفس التي تحوي هذه الأجزاء؛ كما أنّ وحدة قضايا علم من العلوم تفترض وحدة العقل الذي يمسك بها جميعاً، ولولا هذه الوحدة العليا لتناثر كل ما في الوجود وتفتت وخسر وجوده (برهييه، 1998م).

كتب الفيلسوف الروماني تيتوس لوكريتوس T. Lucretius Carus (توفي نحو 55ق.م) في (حول طبيعة الكون): «لابد أنّ الأجسام جميعها تتحرك في الفراغ الخالي من العوائق بسرعاتٍ متساويةٍ، ولو أنّها متفاوتة في الوزن» (هوفمان، 2000م).

ربما كان الروماني بليني الأكبر (القرن 1م) أوّل من ربط بين ظاهرتي المد والجزر وتأثير القمر (يحياوي، 1997م).

العلمـــــــاء العرب والمســـــلمون

اصطلح العلماء العرب والمسلمون على تسمية الجاذبية بـ(الميل الطبيعي)، وهي كما نلاحظ متأثرة بالاصطلاح الأرسطي، إلا أنّهم لم يقفوا عند حدود المصطلح أو الفلسفة اليونانية الرامية إلى تفسير وفهم ظاهرة الجاذبية، بل أعملوا فيها عقولهم ومنطقهم، الذي تميز بالمنهجية العلمية والتجريبية الأقرب إلى عقلية غاليليو ونيوتن، وقد درس هذه الظاهرة مجموعةٌ كبيرةٌ من العلماء والمتكلمين، في محاولة منهم لفهمها، مستخدمين من أجل ذلك كل الأمثلة الممكنة في عصرهم.

ونضم صوتنا إلى صوت الباحث قدري طوقان الذي قال: «نحن لا ندعي بأن العرب أو (غيرهم) وضعوا الجاذبية وقوانينها وما إليها في الشكل الرياضياتي الطبيعي الذي أتى به نيوتن، إنما جل ما في الأمر أن العرب أخذوا فكرة الجذب عن اليونان وزادوا عليها ووضعوا بعض القوانين لسقوط الأجسام، ثم أتى بعد ذلك نيوتن وأخذ ما عمله غيره في هذا المضمار وزاد عليه، وبفضل ما وهبه اللّه من العبقرية وما اتصف به من المثابرة والثبات استطاع أن يضع الجاذبية بالشكل الذي نعرفه مما لم يسبق إليه، ولا شك أن له في ذلك فضلاً كبيراً جداً، ولكن هذا لا يعني تجريد العرب ومن قبلهم اليونان من الفضل، فلواضع الأساس في علم من الفضل ما للمكتشف أو للمخترع فيه» (طوقان، 1934م).

قال إبراهيم النظّام: إنّ كلّ شيء قد يداخل ضده وخلافه؛ فالضد هو المانع الفاسد لغيره... وزعم أن الخفيف قد يداخل الثقيل، ورب خفيف أقل كيلاً من الثقيل وأكثر قوة منه، فإذا داخله شغله- يعني أن القليل الكيل، الكثير القوة

يشغل الكثير الكيل، القليل القوة (الفيومي، 2010م) - وهو هنا يربط بين كمية المادة وقوة ثقلها، وهذه إشارةٌ مهمةٌ، لأنه ثمة مواد ذات حجم صغيرٍ وثقلٍ كبيرٍ، وأي مادة تمزج معها تكسبها خصائصها الثقالية، وهو يردّ بذلك على حالة التناقض التي افترضها أرسطو، بأنّه لا يمكن إجراء المداخلة بين الجسمين الثقيل والخفيف. إذاً فقد لاحظ النظّام هذا التناقض قبل غاليليو الذي سبق وذكرنا أنه اعترض عليه بمثال ربط حجرين أحدهما خفيف والآخر ثقيل.

لقد سعى الكندي لإثبات صيغ القوانين التي تحكم سقوط الأجسام، وهو موضوع لم يلق من علماء العرب كثير اهتمام، ويقول إن له كتاباً (في قوانين التجاذب) (عبدالباقي، 1991م)، لكننا لم نعثر عليه لنبحث في مضامين تلك القوانين، وتعتقد زيغريد هونكه أنّ هذا الكتاب قد أهمل ولم يحظ باهتمام المترجمين إلى اللاتينية (هونكه، 1981م). ومما يلفت إليه الانتباه أنه ربط من خلال رسائله بين حركة القمر وحركة المد والجزر (الكندي، 1950م)، واعتقد بوجود أثرٍ متبادلٍ فيما بينهما، فهو كما نعلم حالياً يقلل من دوران الأرض حول نفسها، وهو ما يجعل اليوم على كوكبنا يدوم 24 ساعة بعد مرور 4.6 مليار سنة، بينما كان اليوم 20 ساعة فقط قبل مليار سنة، ولو لم يوجد القمر نهائياً لكان اليوم على الأرض لا يزيد عن 8 ساعات، تسطع فيه الشمس من 3-5 ساعات فقط (كومنس، 1997م). كما تحدث الكندي عن حركة الأرض والماء «وإنّ حركة الأرض والماء المكانية الطبيعية هي إلى وسط الكل» (الكندي، 1950م). وفي هذا إشارة إلى أنّ الأرض والماء تنجذب إلى مركز كلٍ من الماء والأرض.

يرى الباحث محمود شلتوت أنّه يعزى لأحد أولاد موسى بن شاكر (أو إلى أبيهم) القول «بالجاذبية العامة» بين الأجرام السماوية مما يربطها بعضها

ببعض. وأنّ الجاذبية الأرضية عقل الأجسام تقع على الأرض (شلتوت، 2009م). بمعنى أنّهم بحثوا في سقوط الأجسام، وأنّهم أدركوا وجود قوة تجاذب فيما بينها تختلف عن مادتها (عبد الباقي، 1991م).

تناول مؤلف مجهول (يعتقد المؤرخ بول كراوس أنّه من أهل حران الموجودين في بغداد) في كتاب (الروابيع) المنسوب لأفلاطون مسألة قوة الجذب بين الشمس والقمر ومحاولة تفسير ظاهرة المدّ والجزر اعتماداً على وجود قوى جذب علويةٍ، ونجد في هذا الكتاب حوارية بين شخص اسمه أحمد وأفلاطون، الأمر الذي يعني أن واضعه عربي وليس مترجماً عن اليونانية: «قال أفلاطون: وعند انتدابك في العمل فاستعن في التحليل بالقمر، وفي التصعيد بالشمس إلى أن قال: فإن أثرهما يظهر.

قال أحمد: الذي أنبأك به قول له فيه وفي سائر آرائه مذهب أنا مخرج لك جمله، فلنبدأ ببعض ما أتي به بعض تلامذة الشيخ أفلاطون: فمنهم غلوقن فيقول: إن من رأي الأوائل أن ما بين الاجتماع والاستقبال القوة للقمر، وبين الاستقبال والاجتماع القوة للشمس. فكلّ أمرٍ من الأمور التي يستولي عليها هذين الكوكبين يكون الأثر للكوكب في أوان قوته واستيلائه أكثر. فيقول الفيلسوف: إنّ الاختيار لأوان التحليل بعد الاجتماع، والتعقيد بعد الاستقبال. وقد تكلم في هذا النوع تلامذة الشيخ وأكثروا القول وخطّأوا الفيلسوف في رأيه هذا. وذلك أنّهم رأوا أن القوة تنجذب إلى العلو بعد الاجتماع أكثر منه بعد الاستقبال؛ واحتجوا في ذلك بالمد والجزر وغير ذلك من القوى الطالبة للعلو» (بدوي، 1997م).

إذاً الغاية من هذه الحوارية الخيالية بين أحمد وأفلاطون أنّ ظاهرة المد والجزر تزداد عندما يحدث ما يسمى بعلم الفلك (الاجتماع) بين جرمين وأكثر

مع الأرض، كأن تصبح الشمس والقمر والأرض على خط مستقيم واحد، عندها، وهذه حقيقة صحيحة، يصبح المدّ أعظمياً فيجذب مياه البحار والمحيطات للأعلى على أحد طرفي كوكب الأرض، في حين أنه يحدث مدٌّ أعظمي على الطرفين الآخرين، وهو ما يؤكد أثر الجاذبية المتبادل بين الأرض والقمر.

تكلم ثابت بن قرة الحراني عن الجاذبية قائلاً: «إنّ المَدرة تعود إلى أسفل، لأنّ بينها وبين كلية الأرض مشابهةٌ في الأعراض من البرودة واليبوسة والكثافة، والشيء ينجذب إلى مثله، والأصغر ينجذب إلى الأعظم، وإلى المجاور الأقرب قبل انجذابه إلى مجاوره الأبعد» (أبو خليل وآخرون، 1996م). ومن هذا النص نلاحظ إدراك ثابت بن قرة لعدة عوامل تتعلق بالجاذبية، وهي تعدّ إضافة مهمة على ما طرحه السابقون نوردها فيما يأتي:

- أن الأجسام ذات الوزن النوعي الأثقل من وزن الهواء النوعي تنجذب من فوق إلى تحت؛ كما هو حال المدرة (قطعة الطين اليابس).
- ينجذب الجسم الصغير إلى الكبير (أي لا بد من وجود جسمين).
- ينجذب الجسم إلى الأقرب ويتأثر به أكثر من انجذابه للجسم البعيد (الارتباط بالمسافة).

لكن ثابت لم يضعنا بصورة العلاقة بين هذه العوامل من جهة، وما هي علاقتها بقوة التأثير المتبادل فيما بينها من جهة أخرى، ولو فعل لكانت قفزة نوعية باتجاه قانون الجاذبية العام قبل أن يعلن عنه نيوتن.

وقال ثابت بن قرة في شرحه لسبب ميل الأجزاء الثقيلة المتجانسة فيما بينها من جميع الجوانب هو «طلب كل جزءٍ موضعاً يكون فيه قربه من جميع الأجزاء قرباً متساوياً إذ عنده ميل المدرة إلى السفل ليس لكونها طالبة للمركز بالذات بل لأن الجنسية منشأ الانضمام، فقال: لو فُرِضَ أنّ الأرض تقطعت وتفرقت في جوانب العالم ثم أطلقت أجزاؤها لكان يتوجه بعضها إلى بعض ويقف حيث يتهيأ تلاقيها» (الحلي، (د.ت)). وهي فرضيّةٌ مهمّةٌ جداً، تسبق فرضيّة لابلاس في شرح كيفية تشكل الأجرام السماوية المعروفة بالفرضية السديمية.

تحدث أبو القاسم ابن خرداذبة (توفي 300هـ/913م) بشكلٍ عام عن وجود الجاذبية الأرضية، وقد شبَّه قوة التصاقنا بالأرض يماثل في تأثيره قوة التصاق المغناطيس الجاذب للأجسام الحديدية. يقول: إنّ «بنية الخلق على الأرض أنّ النسيم جاذب لما في أبدانهم من الخفة، والأرض جاذبة لما في أبدانهم من الثقل، لأنّ الأرض بمنزلة الحجر الذي يجتذب الحديد» (ابن خرداذبة، 1898م). وليس علينا فهم النص على أنّه إشارة إلى حقل الجاذبية الأرضية الذي يماثل الحقل المغناطيسي المتولد حوله، والذي يشد إليه كل من يقع فيه، وإنّما كان يقصد بها حالة التجاذب الكائنة بين جسمين أحدهما يشد الآخر.

وقد تناقل عدد من العلماء والجغرافيين العرب مقولة ابن خرداذبة هذه؛ إذ نجدها مكررةً لدى ابن الفقيه (كان حياً عام 290هـ/903م) في كتابه (مختصر كتاب البلدان)، وعند أبو عبد اللّه المقدسي (توفي 390هـ/1000م) في كتابه (أحسن التقاسيم في معرفة الأقاليم).

كان أبو علي الجُبَّائي (الأب) يقول – كما قالت المعتزلة – إنّ الثقل هو الثقيل والخفة هي الخفيف و«إنما يكون الشيء أثقل بزيادة الأجزاء» (الأشعري، 1950م). وقوله هذا كان رداً على بعض من قال بأنّ الثقل غير الثقيل والخفة غير الخفيف، مثل أبو الحسين الصالحي، الذي اتفق معه أبو هاشم الجُبَّائي (الابن) الذي قال بأن الثقل عَرَضٌ يحلُّ في الجسم فيصبح ثقيلاً، كما يحل اللون أو الحرارة بالجسم (البغدادي، 1928م). وقول أبو علي بأن الثِقَلُ هو الثقيل، والخِفّة هي الخفيف، أي الثقل مادة الشيء، ومادة الشيء هي الشيء نفسه (فروخ، 1969م).

بالوقوف على عبارة أبو علي (أثقل بزيادة الأجزاء) نجد أنّه لم يكن يقصد بها الزيادة الحجمية فحسب، وإنما الزيادة الوزنية أيضاً، مما يزيد من كثافة الجسم (خشيم، 1968م). ونعلم نحن حالياً من وجود ارتباط بين كتلة الجسم وثقله (أو وزنه). وهي فكرة من الأفكار النظرية التي عولجت من قبل المتكلمين العرب والمسلمين، وتستحق الذكر وتكاد تقترب كثيراً من فهمهم لحقيقة الكتلة قبل نيوتن، ويعتقد أبو علي الجبائي أن الرطوبة واليبوسة عاملان مؤثران على مقدار الثقل والخفة، فقد كان يرى: «أنّ موجب الثقل هو الرطوبة وموجب الخفة اليبوسة». والدليل على ذلك– بحسب رأيه– هو أنّ الرطوبة كامنةٌ في الجسم الثقيل ويخلو منها الجسم الخفيف، فالذهب، وهو جسم معروف بثقله بالنسبة للخشب، إذا صُهر ذاب وظهرت رطوبته التي كانت موجودة فيه قبل أن يعرض للنار، أما الخشب فبسبب خلوّه من الرطوبة ييبس ويتكلس ويتحول إلى رماد، فالنار تزيده يُبساً بإفناء الرطوبة القليلة الموجودة فيه. وقد أنكر أبو هاشم نظرية أبيه وقال: إنّ الخفة والثقل «كيفيتان حقيقيتان» في الذهب والخشب (الإيجي، 1997م).

يعود أبو بكر فيذكر المثال الذي تكلم عنه ثابت بن قرة دون أن يقدم لنا رأياً جديداً في ذلك؛ فيقول: «إننا إذا رمينا المدرة إلى فوق فإنّها ترجع إلى أسفل



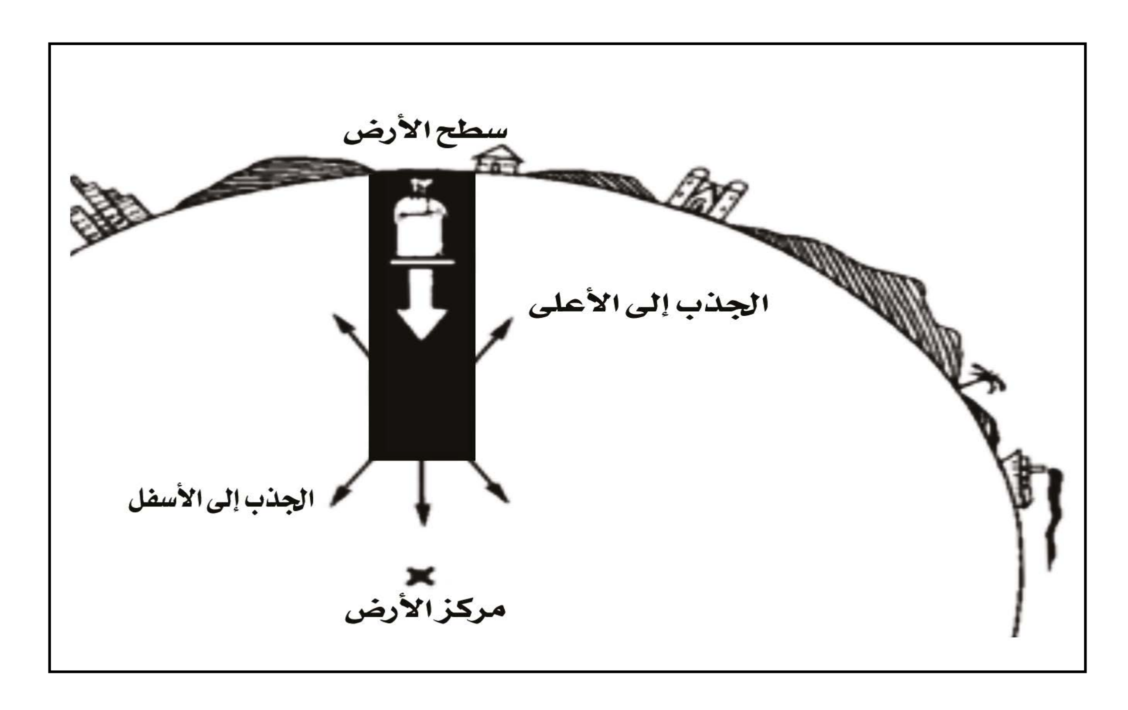
فتصلنا، إن فيها قوةً تقتضي الحصول في السفل حتى إذا رميناها إلى فوق أعاد تلك القوة إلى أسفل» (الرفاعي، 1973م).

طرح عبد الله بن أحمد الكعبي في أمثلته وتجاربه مثال التفاحة قبل نيوتن، لكن ليس لإثبات الجاذبية بل لتأكيد مغالطةٍ تنفي مبكراً قانون الجاذبية الأرضية. يقول الكعبي: «لو أنّ رجلاً قبض على تفاحة في الهواء بإصبعه، ثم باعد بإصبعه عنها تهوي إلى الأرض، قال: وليس يشك أنّ إبعاد إصبعه منها، هو المولد لها لذهابها نحو الأرض، وهذا المولد هو حركة عن الجسم وليس حركة إليه» (الخيون، 1997م). فهو يحاول أن يثبت أنّ الحركة التي نشأت ليست بفعل الجاذبية الأرضية للتفاحة وإنّما نتيجة إبعاد الأصابع وتولّد حركةً ذاتيةً للجسم.

ويكشف لنا ابن مثويه عن قولٍ في منتهى الدقة كان أبو القاسم قد توصل إليه يوضح العلاقة بين الجسمين الخفيف والثقيل، وخضوعهما لتأثيرٍ واحد حتى في الخلاء، فقال: «وقد فرّق أبو القاسم بين الخفيف والثقيل فقال: إنّ الخفيف تصح حركته على هذا الحد، ومنعه في الثقيل، ولو قيل إنّ الأمر بالعكس من ذلك لكان قريباً، فإنك إذا رميت الخفيف لم تجد سرعة حركته كسرعة حركة الثقيل، والمانع الذي في الجو يمنع الخفيف بأكثر من منعه الثقيل، ولا وجه يمكن الإشارة إليه يمنع من توالي الحركات في الثقيل إذا كانت الأحوال سليمة ولا عارض في الجو، والذي لأجله يقع الفصل بين نزول الخفيف والثقيل هو الهواء الذي في الجو، **وإلا فلولاه لكنا إذا أرسلنا حجراً وريشةً ينزلان معاً، إلا أنّ الهواء مانع للخفيف من النزول، والثقيل يُخرقه**، هذا هو الصحيح في علة ذلك عند شيوخنا - رحمهم الله - وإن كان أبو هاشم (الجبائي) قد استبعده»

(ابن مثويه، 1975م). وفي هذا النص دليلٌ قاطعٌ على معرفة العلماء العرب والمسلمين بتساوي سقوط الأجسام كلها في حقل الجاذبية الأرضية، مناقضين بذلك أرسطو وسابقين كل من غاليليو ونيوتن أيضاً في تجربته في الأنبوب المخلّى من الهواء التي وضع فيها قطعة معدنية وريشةً بخمسمائة عام على الأقل. وقد أجريت تجربة إلقاء ريشةٍ ومطرقةٍ على سطح القمر من قبل رواد رحلة الفضاء أبولو15 في عام 1971م. وتأكد لهم ذلك فعلاً.

ناقش أبو هاشم الجبائي (الابن) مسألة سقوط الجسم تحت سطح الأرض بفعل ثقله؛ لكن اعتباراً من سطح الأرض نحو مركزها، وليس من الهواء نحو سطح الأرض، وهي حالةٌ جديدةٌ لم تدرس من قبل، إلا أنها ستعود للظهور مع نيكول أوريسم في أطروحته عن (الكون والسماوات). قال أبو هاشم: «ويلزم لو فعلنا في الأرض خرقاً وأرسلنا فيه حجراً أن يقف ولا يذهب مع أن ما فيه من الثقل موجب الهوي» (ابن مثويه، 1975م). لكنه لم يوضح هل الخرق يصل نحو الطرف الآخر من الأرض أم يقف عند مركزها تماماً؟ فالجاذبية يقل تأثيرها على الجسم عندما ينزل أو يرتفع عن سطح الأرض، وتبلغ قيمتها العظمى عند السطح.



يوضح الشكل الحالة التي تكلم عنها أبو هاشم الجبائي حيث توقع أن ينعدم أثر الجاذبية عليه كلما غاص الجسم أكثر تحت سطح الأرض (بيرلمان، 1977م). في حين أنّ الجسم يخضع في هذه الحالة لنوعين من الجذب ناتجٌ عن طبقات الأرض الداخلية والخارجية (لانداو، 1978م). أي يظهر لدينا جذب إلى الأعلى وآخر نحو الأسفل.

اهتم ابن الحائك، أبو محمد الحسن بن أحمد بن يعقوب بموضوع الجاذبية، وهو يقرّر بأنّ النار تتحرك «إلى فوق والهواء متموج يمنةً ويسرةً على وجه الأرض، والماء يتحرك ويسير سفلاً، والأرض واقفةً راكدةً لذا كانت أكثر من الثلاثة قبولاً، وكان تأثير الأجرام العلوية والعناصر السماوية فيها أكثر، وكانت على ما فاتها من الأجسام أغلب وأشد جذباً من الهواء والماء

من كل جهاتها؛ فهي بمنزلة حجر المغناطيس الذي تجذب قواه الحديد إلى كل جانب» (الهمداني، 1983م). فهو يشير إلى خاصية الجاذبية المحيطية للأرض، ويماثل بينها وبين جاذبية المغناطيس، كما سبق وفعل ابن خرداذبة، وفي سياق حديثه عن الأرض وما يرتبط بها من أركانٍ ومياهٍ وهواءٍ نجد الهمداني يقول: «فمن كان تحتها (تحت الأرض) فهو في الثبات في قامته كمن فوقها، ومسقطه وقدمه إلى سطحها الأسفل، كمسقطه إلى سطحها الأعلى، وكثبات قدمه عليه، فهي بمنزلة حجر المغناطيس، الذي تجذب قواه الحديد إلى كل جانب، فأما ما كان فوقه فإن قوته وقوة الأرض تجتمعان على جذبه... فالأرض أغلب عليه بالجذب لأنّ القهر من هذه الحجارة لا يرفع العلاة (السندانُ) ولا سفله الحداد» (الهمداني، 1983م). وذلك ينبهنا إلى أنّ الجاذبية قوةٌ كائنةٌ بين الجسمين، لكنّ الأكبر منهما حجماً وكتلةً هو من يشدّ الآخر إليه، وجميع من عليها يشعرون بالاستقامة في وقوفهم على سطحها، سواء كانوا في جنوب الأرض أو شمالها.

يبدو أنّ هذه الأفكار المبكرة كان مكتوب لها أن تطمس على أيدي اللاتين الأوربيين عندما انتقلت إليهم لجهلهم بحقيقتها، فهذا معلم الكنيسة لاكتاتيتوس Lacteatus يتساءل مستنكراً: «هل هذا من المعقول؟ أيعقل أن يجنّ الناس إلى هذا الحد، فيدخل في عقولهم أنّ البلدان والأشجار تتدلى من الجانب الآخر من الأرض وأنّ أقدام الناس تعلو رؤوسهم؟»(هونكه، 1981م).

وهو ما قد يفسر لنا سبب تأخر حركة الاستكشاف الجغرافي؛ فعندما فكر كريستوف كولومبس أن يعبر المحيط الأطلسي كان الكثير من الناس يعتقدون أن الأرض منبسطة فقالوا إن كولومبس سوف يسقط فور وصوله لحافتها ولم يعلموا أن الأرض كروية.

ينقل لنا ابن طاهر المقدسي تفسير ظاهرة المد والجزر لدى اليونانيين دون أن يبيّن لنا رأيه الخاص في الظاهرة، فيقول: «واختلفوا في المدّ والجزر فزعم أرسطاطاليس أنّ علة ذلك من الشمس؛ إذا حرّكت الريح فإذا ازدادت الرياح كان منها المد، وإذا نقصت كان عنها الجزر وزعم طيماوس أن المد بانصباب الأنهار في البحر، والجزر بسكونها وزعم بعضهم أنّ ذلك المد بامتلاء القمر والجزر بنقصانه» (المقدسي، (د.ت))، ويقصد «بامتلاء القمر» طور البدر.

تكلم أبو بكر بن بشرون (كان حياً عام 390هـ/ 1000م) عن تمركز قوة الثقل في مركز الأرض وعن إحاطة هذه القوة، التي يسميها بالروحانية الماسكة، بأية قوى أخرى، فقال في ذلك: «والرصاص حجر، ثلاث قوى مختلفة الشخوص ولكنها متشاكلةٌ ومتجانسةٌ، فالواحدة روحانية نيرة صافية وهي الفاعلة، والثانية نفسانية وهي متحركة حساسة، غير أنّها أغلظ من الأولى ومركزها دون مركز الأولى، والثالثة قوةٌ أرضيةٌ حاسةٌ قابضةٌ منعكسةٌ إلى مركز الأرض لثقلها، وهي الماسكة الروحانية والنفسانية جميعاً والمحيطة بهما» (ابن خلدون، 1988م). هذه الفكرة ستعود للظهور مع أفكار إخوان الصفا، لدى محاولة تفسيرهم لمفعول التأثير عن بعد.

تناول إخوان الصفا مسألة قوى الجذب بين الأجرام السماوية المختلفة، كما تحدثوا عن الجاذبية الأرضية. فنراهم يستعرضون أقوال من سبقهم: «اعلم أنّ سبب وقوف الأرض وسط الهواء ففيه أربعة أقاويل:

- **منها ما قيل إنّ سبب وقوفها هو جذب الفلك لها من جميع الجهات بالسوية، فوجب لها الوقوف في الوسط لما تساوي قوة الجذب من جميع الجهات.**

- ومنها ما قيل إنه دفع الفلك لها من كل الجهات مثل ذلك، فوجب لها الوقوف في الوسط لما تساوت قوة الدفع من جميع الجهات.
- ومنها ما قيل إن سبب وقوفها في الوسط هو جذب المركز لها بجميع أجزائها من جميع الجهات إلى الوسط، لأنه لما كان مركز الأرض مركز الفلك أيضاً وهو مغناطيس الأثقال يعني مركز الأرض، وأجزاء الأرض لما كانت ثقيلةً فانجذبت إلى المركز، وسبق جزء واحد وحصل في المركز، وقف باقي الأجزاء حولها، يعني حول النقط، يطلب كل جزء منها المركز فصارت الأرض بجميع أجزائها كرة واحدة بذلك السبب.
- والوجه الرابع ما قيل في سبب وقوف الأرض في وسط الهواء هو خصوصية الموضع اللائق بها» (إخوان الصفا، (د.ت)).

وما ذكروه كان قد ورد في نظرية أرسطو وبطليموس أنّ الأرض مركز الكون وأنّها ثابتة والكل من حولها يسبحون، ولذلك فهي تتعرض لقوى جاذبة من قبل ما يحيط بها من كل الجهات، كما أنها تؤثر بمركزية ثقلها على كل ما يحيط بها. كما نجد أنّهم يعتقدون الرأي الأرسطي بأنّ «الأجسام وهي في أمكنتها الطبيعية الخاصة لا توصف بالخفة أو الثقل، فإذا ما خرجت من أمكنتها وصفت بالثقيلة إن كانت حركتها نحو مركز الأرض، وبالخفيفة إن كانت حركتها نحو المحيط، ولعل الثقل والخفة تكونان أيضاً بسبب الموانع التي تعوق الجسم من أن ينتظم في مكانه الطبيعي، فيقع التنازع، ويكون على أشده في مركز الأرض وأضعفه في المحيط» (إخوان الصفا، (د.ت)).

أي أنّ الخفة والثقل تظهر في الجسم بحسب الجهة التي يتوجه نحوها، فإذا كانت نحو المحيط للأعلى فهو خفيف، وإذا كانت نحو الأسفل كان ثقيلاً.

ثم يعرج إخوان الصفا إلى الحديث عن الثقل مرةً أخرى فيقولون: «وأما الثقل والخفة في بعض الأجسام، فهو من أجل أنّ الأجسام الكليّات كل واحد له موضعٌ مخصوصٌ، ويكون واقفاً فيه لا يخرج إلاّ بقسر قاسر، وإذا خُلّي رجع إلى مكانه الخاص به، فإن منعه مانعٌ وقع التنازع بينهما، فإن النزوع نحو مركز العالم يسمى ثقيلاً، وإن كان نحو المحيط يسمى خفيفاً، وقد بينا في رسالة السماء والعالم كيفية ذلك» (إخوان الصفا، (د.ت)).

وقد عثرنا على نص على غايةٍ من الأهمية موجود في الرسالة السادسة من الجسمانيات الطبيعيات، الذي يتناول ماهية الطبيعة يقول فيه إخوان الصفا: «إنّه ينبثّ من جرم الشمس قوة روحانية في جميع العالم، فتسري في أفلاكه وأركان طبائعه ومولداتها، في جميع الأجساد الكلية والجزئية، وبها يكون صلاح العالم وتمام وجوده وكمال بقائه» (إخوان الصفا، (د.ت)).

ويؤكدون أن هذه القوة الروحانية- التي سبقهم بالحديث عنها ابن بشرون ويمكننا تفسيرها بحقل الجاذبية حاليًا - تصدر عن كل الأجرام السماوية، وكونهم يعتقدون بصحة نظرية مركزية الأرض السائدة، فقد افترضوا أن هذه القوة الروحانية يجب أن تلتقي في نقطة واحدة هي مركز الأرض كونها مركز الكون: «وهكذا ينبثّ من كلّ كوكبٍ من الثوابت قوة روحانيةٌ تسري في جميع جسم العالم من أعلى الفلك الثامن الذي هو الكرسي الواسع إلى منتهى مركز الأرض» (إخوان الصفا، (د.ت)).

حتى نفهم مقصدهم أكثر سنبحث في معنى (القوة الروحانية) أكثر، وهو مصطلح شائع الاستخدام كثيراً في رسائلهم، فقد ذكروه لدى حديثهم عن صفات

الصوت والضوء في الرسالة 17 من الجسمانيات الطبيعيات بقولهم: «ثم إنّ لكل صوتٍ صفةً روحانيةً تختص به خلاف صوت آخر..» (إخوان الصفا، (د.ت)).

وكذلك لدى حديثهم عن انتقال الضوء في الهواء يذكرون أنّه يجب «أن تعلم أنّ جسم الهواء شريفٌ، وهو متوسطٌ بين الطرفين، فما هو فوقه ألطف منه وهو النور والضياء، وما هو أكثف وهو الماء والتراب، ولما كان الهواء أصفى من الماء وألطف وأشرف جوهراً وأخف حركةً، صار النور يسري فيه ويصبغه بصبغته ويودعه روحانيته، لأنّه قاربه وجانسه بما فيه من اللطافة» (إخوان الصفا، (د.ت)).

وبذلك يكون معنى (الروحانية) التي استخدموها هو الشيء اللطيف غير المرئي الذي ينبعث من جرم أو جسم ويؤثر في جسم أو جرم آخر بعيد أو قريب منه، وقد وضحوا معنى «اللّطافة» عندما تكلموا عن الحرارة فهم يقصدون بها المقدرة على النفوذ في الأجسام فقالوا: «ومن الصور المتممة لذات النار اللطافة التي تولّدها الحرارة، وتتلوها سرعة النفوذ في الأجسام» (إخوان الصفا، (د.ت)). وهو المعنى القريب جداً أيضاً من تعريف جابر بن حيان للروح بقوله: «الروح هو الشيء اللطيف الجاري مجرى الصورة الفاعلة» (جابر بن حيان، 1935م). إلا أن تعريف إخوان الصفا يتضمن مفهوم التأثير عن بعد والتأثير ضمن مجال أو حقل قوة والقدرة على النفوذ في الأجسام، وحسبنا أن هذا هو جوهر مفهوم الحقل أو المجال.

من ناحية أخرى نجد أن ربط إخوان الصفا بين (القوة) و (الروحانية) له دلالته؛ فكما نعلم أنّ مفهوم القوة لديهم يعني ما هو غير محسوس أو مجسّد أو غير مدرك بالحواس بحسب المعنى الأرسطي للكلمة، وليس بالمعنى الفيزيائي الحديث.

إذاً؛ يصبح معنى (القوة الروحانية) كمصطلح مركّب: الشيء اللطيف الخفي الذي له أثرٌ عن بعد، وقد ظهر هذا المعنى تماماً لدى حديثهم عن النفس الكلية فذكروا أنها «فاضت من العقل» وأن لها «قوتين ساريتين في جميع الأجسام» وأنه تؤثر بالشخص «بحسب قبول شخص تأثيراتها» (إخوان الصفا، (د.ت)).

لنعتبر أن ما طرحوه من باب «الفرضية النظرية أو الكلامية» المصاغة بمصطلحاتهم الخاصة، لكن أليس قريباً جداً من الواقع الحقيقي اليوم؟! وألا يستحق النظر منّا والتأمل أن يقال مثل هذا الكلام منذ ألف سنةٍ بمثابة محاولة لتفسير الارتباط الكائن بين الشمس وبقية الأجرام؟!

لقد كان ينقصهم التعبير الرياضياتي ليدعم فكرتهم، كما فعل ماكسويل عندما نجح في التعبير عن خطوط الحقل المغناطيسي التي افترض وجودها الفيزيائي التجريبي فاراداي بأنها متجهات، مستفيداً قبل ذلك من أعمال اللورد كلفن.

ولو سألنا نيوتن نفسه الذي صاغ قانون الجاذبية العامة نفسه ما هي قوة الجاذبية؟ فكان سيرد علينا: بأنه لا يعرف شيئاً عنها ومن السخف البحث في ماهيتها، فهو «لا يختلق الفرضيات»، لذلك كان يؤكد دوماً أنه يريد أن يكتفي بوصف نتائج القوى القابلة للقياس والملاحظة، أي الحركة ذاتها، وهذا التهرب يعتبره البعض «تعقلاً من جانبه»، لأنّ نظرية الحقول الكمومية التي ستظهر في القرن العشرين ستصف القوى على أنها تجلٍّ لتبادل جسيماتٍ موجودةٍ بالقوة بشكلٍ دائم، بين جسيمات مادية مثل (البوزونات)، وأخرى مثل (الفرميونات) (ليستيين، 1998م).

يرى أبو بكر محمد بن الحسن الكرجي (توفي 406هـ/1030م) في كتابه (أنباط المياه الخفية) إلى أنّ الماء أثناء «جريته يطلب الشكل الكري؛ فإذا وجده لم يجر بتة، وكذلك الأبنية والأمكنة المرتفعة عن وجه الأرض تنهار وتقع طلباً للمركز واستدارة كرة الأرض» (الكرجي، 1892م). أي لا يمكننا تفسير سقوط الأبنية المنهارة للأسفل إلا لطلبها مركز الجذب في الأرض.

لم يقدم ابن سينا الجديد على ما قاله أرسطو في هذا الموضوع إذ يعتقد بأنّ «لكل جسم مكانه الطبيعي أو ميزة تقتضي طبيعته أن يتحرك إليه، فالنار مثلاً تتحرك إلى أعلى، والجمر عادةً وطبيعياً يتحرك إلى أسفل، والمتحرك إلى الوسط هو الذي يسمى ثقيلاً، أما المتحرك عن الوسط فيسمى خفيفاً». وقد استخدم ابن سينا لفظ الميل الطبيعي ليعبر به عن قوة الثقالة الأرضية حيث قال: «وكلما كان الميل الطبيعي أقوى، كان أمنع لجسمه عن قبول الميل القسري، وكانت الحركة بالميل القسري أفتر وأبطأ» (ابن سينا، 1983م). أي كلما كان تأثير قوة الجاذبية أكبر كانت أكثر تأثيراً من أي قوة خارجية أخرى. وقد شرح الفكرة أكثر بهمنيار بن المرزبان تلميذ ابن سينا في كتابه (التحصيل) فيقول: «ويجب أن يكون في الجسم في حال ما يتحرّك معنى زايد عن الطبيعة، وذلك لأن الجسم في مكانه الطبيعي ذو طبيعة، ولكن لا يكون ذا حركة، وهذا المعنى الزائد يسمَّى ميلاً، وهو الذي يشاهد في حال ما يتحرك الجسم إلى مكانه الطبيعي من الدفع القوي لمقاومه» (ابن المرزبان، المحصل، مخطوطة المكتبة الأحمدية بحلب، رقم 1122، الكتاب الثالث، ص 247ظ).

ويكمل ابن المرزبان معمماً تأثير الجاذبية على كلّ حركة تحدث، وذلك لكون الجاذبية: «كل حركة فهي تصدر عن ميل كما عرفته، وهذا الميل في نفسه معنىً من

المعاني، به توصّل إلى حدود الحركات، ومُحال أن يكون الواصل إلى حد ما واصلاً بلا علة موجودة موصولة، محال أيضاً أن تكون هذه العلة غير التي أزيلت عن المستقرٍ الأول، وهذه العلةً يكون لها قياس إلى ما يزيله يسمى ميلاً، ومن حيث هو موصل لا يسمى ميلاً. الميل مالا يُقسر ولم يُقمع أو لم يَفسد، فإنّ الحركة التي تجب عنه تكون موجودةً» (ابن المرزبان، المحصل، ص 260 و 261-ظ).

اقترب أبا رشيد النيسابوري (توفي نحو 440هـ/1048م) كثيراً من فهمه لتأثير الجاذبية على سقوط الأجسام، ورد على الكعبي (الذي سبقه بمائة عام) في مثال الريشة والحجر بقوله: «وعندنا أنّ المولد للهوي ما فيه من الثقل، يدلّ على ذلك أنّ الهويَ يقع بحسب ثقله، حتى إذا كانت ريشة، فارق في حالها في الهويّ حال التفاحة، وإنّ كان رفع اليد لا يختلف على أنّ تنحيه عنها، ليس لها بالتوليد في جهة من الاختصاص، ما ليس له بغيرها» (الخيون، 1997م).

وما لاحظه نيوتن من سقوط التفاحة - إن صحّت رواية التفاحة كما قلنا- وتأثير الجاذبية عليها هو تماماً ما لاحظه كلٌّ من الكعبي والنيسابوري، لكن الفرق بينهم هو وضع الصياغة الرياضياتية للقانون من قبل نيوتن، وبأخذ الفارق الزمني (حوالي ثمانية قرون) بعين الاعتبار بينهم وما رافقه من تطور في حساب التفاضل والتكامل من جهة، والعلاقة بين الرياضيات والفيزياء من جهة أخرى، إضافة لخصوصية كل مرحلة من تاريخ العلم التي مرّ بها تطوره، كفيلٌ بأن يشفع - برأينا- لكل العلماء العرب والمسلمين عدم وضعهم لصياغةٍ رياضياتيةٍ لمعظم الظاهرات الفيزيائية وفق الصيغ التي نعرفها بها نحن اليوم.

وفي مسألة أخرى طرحها الكعبي في (عيون المسائل) يقول فيها: « يجوز أن يوجد الجسم متوالي الحركات حتى لا تقع فيه سكون، إذا كان الكلام في أخفّ

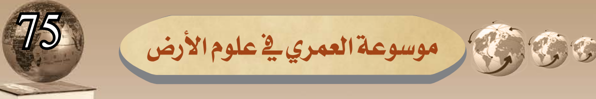
الأشياء، ولا يجوز ذلك في الثقيل». وفي موضع آخر من الكتاب نفسه قال: «لابد من أن ينتهي الجسم الثقيل المنحدر إلى حال تتوالى حركاته، فلا يكون له في الهواء سكون البتة». فيعترض أبو رشيد النيسابوري عليه بقوله: «اعلم أن هذين القولين يتناقضان. **والصحيح عندنا، أنّ توالي الحركات ممكن في الثقيل والخفيف، ولكن إذا رمينا جسماً خفيفاً، فإنه لا تكون حركته في السرعة، كحركته إذا كان ثقيلاً. فلا بد أن يكون ما يعرض في الجو من العوارض، يمنع الخفيف من الحركة، مالا يمنع الثقيل**. فمتوالي الحركات في الجو في الثقيل أمكن منه في الخفيف، فلا أدري بأي وجه قال ذلك، ومتى كان الجسمان يتحركان لا في الآخر، فيعلو أحد النصفين، ويسفل الآخر، ويزول المانع فيهوي، فعلى هذا الوجه يحصل التجاذب» (الفيومي، 2010م).

ولا شك لدينا حالياً نصّ عربي يعود للقرن (5هـ/11م)، قبل أن يطرح غاليليو تجربته المشهورة - إن كان صحيحاً أيضاً أنه قام بها - على برج بيزا بإلقاء جسمين أحدهما أثقل من الآخر ليناقض بها قول أرسطو، في القرن السادس عشر الميلادي.

تناول البيروني مفهوم الجاذبية في كتابه (القانون المسعودي) فهو يرى أنّ «جذب السماء للأرض من كل النواحي بالسواء، وذلك يبطل الجزء، ومنها المنفصل عنها، فإن ما يلحقه من الجذب من جهة الأرض أفتر، فلا محالة أنّ الخلاء الذي في باطن الأرض يمسك الناس من حواليها» (البيروني، القانون المسعودي، 1952م). وهو يشير بذلك إلى وجود نوعين من الجاذبية هما: جاذبية السماء للأرض (جاذبية كونية بعيدة)، وجاذبية الأرض لما فوقها وحولها (جاذبية محلية قريبة)، فالشيء ينجذب إلى النطاق الذي يقع في مجاله وإن كان

هو ونطاقه منجذبين بدورهما إلى جرم السماء. والبشر بحكم وجودهم على سطح الأرض فهم منجذبون إليها، وهي بدورها منجذبة إلى السماء، ويبلغ ذلك الجذب أقصاه في باطن الأرض، حيث تنطلق الجاذبية الأرضية و «الناس على الأرض منتصبو القامات على استقامة أقطار الكرة، وعليها أيضاً تزول الأثقال إلى أسفل» (البيروني، القانون المسعودي، 1952م). ثم يبين أنّ كل الأشياء على الأرض ملتصقة «على مثال خروج الأنوار على أغصان الشجرة المسماة (كذنب) فإنها تحتف عليه، وكل واحد في موضعه على مثال الآخر لا يتدلى أحدها ولا ينتصب غيره، فالأرض تمسك ما عليها لأنها في جميع الجهات سفلٌ والسماء في كل الجهات علو» (البيروني، تحقيق ما للهند ...، 1925م).

ويعود مرةً أخرى لمناقشة الأمر عندما طُرحت مسألة حركة الأرض والعلاقة بينها وبين الجاذبية، فالأرض جرم كبير مقارنةً بأي جزءٍ من أجزائها، كما أنّها أشد حركةً من هذه الأجزاء، لذلك فإن لها قدرة على جذبها بشكل كبير، وهذه النظرية فيها ردٌّ على نظرية بطليموس في طفو الأرض وسكونها. يقول البيروني: «ولنعد الآن إلى الأصل الخامس، وهو ينقسم إلى قسمين: يقتضي أحدهما انتقال الأرض من الوسط إلى جهةٍ ما، والجهة المقابلة لكل مسكن أولاها، لأن السفل في سمتها فيتصوّر هوي أجزاء الأرض إليها، فإن استقرت متنقلة كذلك في موضع اقتربت فيه إلى موضع من السماء وتباعدت عن نظيره، ولو كان ذلك لوجد لها في الموضع الذي انتقلت إليه حال من الأحوال التي عددناها في خروجها من الوسط وليس من ذلك شيء بموجود، وإن امتدت في الهوي ولم تستقر وجب منه وقت الحركة أن لا يلحق بها شيء ثقيل منفصل عنها لتحركهما معاً، وإن كل الأرض لا محالة أشد حركةً لفضل عظمها على ما هو

أصغر منها من أجزائها، لكن الهيئة والصخرة العظيمة سيّان في اللحوق بها وإن تفاوتت المدة فيه، ولزم أيضاً أن يبلغ الأرض السماء في جهة الهُويّ إلا أن تصير للسماء أيضاً حركة نحو تلك الجهة مساويةً لحركة الأرض كما حكاها محمد بن زكريا الرازي عن الشمنية فتصير حركة الأرض وسكونها بمثابة واحدة للزومها في كليهما الوسط، وهذا ما اعتمده بطليموس في هذا القسم، إلا أن دفعه تعجب المتعجب من كون الأرض مع ثقلها في الهواء طافية غير راسبة بما أشار إليه من صغيرها بالقياس إلى السماء غير دافع له ولا مغنٍ شيئاً، فكل العالم إلى أقصى نهايته لو كان من أثقل الأشياء غير مخالف بعظمه حال الأرض في الطفو والسكون، بل لو توهمت الأرض مرتفعة وفي وسط العالم هيأة واقفة لكان التعجب على حاله بقدر حصتها من الثقل، ولن يزول مالم يتبين أنها وغيرها من الأثقال مضطر إلى الوقوف هناك وبقدر مالها من الثقل تسرع إليه وتتسابق نحوه لتستقر في حقيقة السفل، ثم الأقاويل في سبب هذا الاضطرار كثيرةٌ منها جذب السماء الأرض من كل النواحي بالسواء» (البيروني، القانون المسعودي، 1952م).

أثار هذا الكلام حفيظة ابن سينا، فدارت بينه وبين البيروني جملةٌ من المراسلات العلمية، جمعت فيما بعد بكتابٍ واحد عنوانه (أجوبة الشيخ الرئيس عن مسائل أبي الريحان البيروني)، فقد وضع البيروني بحث أرسطو موضع الشك، وهو بحث حول أنّ الجسم الذي يُتمّ حركةً دائريةً منتظمة لا يمكن أن يكون له (ثقالة) أو (خفة)، وعلى أساس هذه العلاقة فإن كامل المنظومة الكونية تصبح في موضع الشك. في حين أننا نجد أنّ ابن سينا يتبع أرسطو ويؤكد على أن مثل هذا الجسم، وخصوصاً الكرة السماوية لا يمكن أن تسعى إلى الأسفل

أو إلى الأعلى، وإنما تبقى في (مكانها الطبيعي)، وهنا لا يسود لا ثقل ولا خفة، وخصوصاً العناصر التي تسعى إلى الأعلى ليست لثقل العناصر، وإنما السعي نحو مركز الكون، وهنا يسأل البيروني في السؤال الثاني في الفيزياء: مَنْ مِنَ الاثنين على حق؟ هل الذي يؤكد أن الماء والأرض (الجسم الثقيل) يتحركان إلى مركز الكون، والهواء والنار (الجسم الخفيف) يتحركان باتجاه معاكس، أو ذاك الذي يقول إنّ جميع العناصر تسعى إلى المركز والأثقل فيها يسبق الأخف؟ (غريغوريان وروجانسكايا، 2010م).

مع ذلك يعتمد ابن سينا وجهة نظر أرسطو، ويفترض البيروني أنّ كل الأجسام دون استثناء تسعى إلى مركز الأرض، ويستدل على هذا الرأي فيما بعد في عمله عن المساحة، حيث يقول: إن الجاذبية هي خاصية السعي من كافة الجهات نحو المركز، وعلى هذا الأساس يفسر كروية سطح الماء، وسبب تشوش هذا السطح ناجمٌ عن انعدام التماسك بين ذراته. وبالعلاقة مع قاعدة بطليموس يقدم البيروني آراءً مختلفةً حول تفسير أن «الأرض بغض النظر عن جاذبيتها فإنها تسبح في الهواء ولا تنحرف». ويذكر بطليموس أنّه ثمة حركتان متعاكستان بوقت واحد لجسمين ثقيلين، إحدى هاتين الحركتين تتوجه نحو مركز الكون، أما الثانيةً فتنطلق منه. وبحسب رأي البيروني فإنّ هذا مستحيل في الحالة العامة، ولكن يمكن أن ينشأ هذا الوضع عندما تكون إحدى الحركتان طبيعية، والثانية صنعية (غريغوريان وروجانسكايا، 2010م). يقول البيروني في ذلك: «إنّ وجود كل عنصر في مكانه الطبيعي هو أمر غير مؤكد؛ لأنّ المكان الطبيعي للثقل - أي الجهة القاعدية- هو المركز، والمكان الطبيعي للخفة -أي الجهة المرتفعة- هو المحيط. ومع ذلك فإن المركز ليس سوى نقطة، وجزء من

الأرض لا يمكن أن يتناسب مع المركز بغض النظر عن الحجم الصغير الذي يمكن تخيله له... أما فيما يتعلق بالإطار الخارجي الذي يمكن تصوره منطقة سطح، فهو أيضاً غير قادرٍ على الإمساك بأيّ جسم يكون بإمكان الأجسام الخفيفة الوزن الصعود إليه. ثم إذا ما سمحنا للماء بالجريان بحرية وأزلنا من أمامه جميع العوائق فإنه سيصل إلى المركز من غير أدنى شك، فليس هناك أيُّ أساسٍ للادعاء القائل بأن المكان الطبيعي للماء هو على سطح الأرض. وينتج عن ذلك انتفاء وجود مكان طبيعي لأيٍّ جسمٍ كان» (نصر، 1991م).

لقد مضى البيروني إلى أبعد من ذلك؛ عندما استخدم المشاهدة والتجربة والقياس مراتٍ عديدةٍ عندما تعامل مع المفاهيم الطبيعية، فهو يقدر أهمية تطبيق الرياضيات على علوم الطبيعة. لذلك نراه يعتقد بإمكانية قياس قوة الجاذبية عن طريق الوزن. يقول ما خلاصته: إنّ الحساب من طبع الإنسان، ويصبح قياس أيّ شيء معروفاً إذا ما قارناه بشيء آخر يرقى إلى ذات النوع ومتفق عليه كوحدة قياس. وهكذا يصبح الاختلاف بين أيّ شيء وبين هذا القياس أمراً معروفاً أيضاً (نصر، 1991م)، ويستطيع الناس مثلاً: «تقدير جاذبية الأجسام الثقيلة عن طريق الوزن» (البيروني، تحقيق ما للهند ..، 1925م).

لم يكن ابن باجة ليقبل بمذهب أرسطو في الحركة، مع أنّه أحد أكبر الشراح له بعد ابن سينا، وقد وضع رأيه في شروحاته على كتاب (السماع الطبيعي) لأرسطو. ويمكن القول، باستخدام المفاهيم الفيزيائية الحديثة، أنّ قوة الجاذبية عند ابن باجة، لا تتحدد في جوهرها بالعلاقة بين كتل الأجسام المختلفة، وإنما هي قوة مطلقة لحركة الجسم الذاتية، تفعل على غرار فعل الروح في البدن، لذلك فإنه يرفض أن يكون للوسط دورٌ جوهريٌ في حركة الجسم، فلا يعترف له إلا بدور العائق بعد

انفصاله عن الشيء الذي أعطاه الحركة أول الأمر، يجب أن تكون هي الأخرى من طبيعة داخلية، أما آلية انتقال هذه الحركة فيبسطها ابن باجة في شروحه على المقالتين السابعة والثامنة من (السماع الطبيعي) (ابن باجة، 1991م). يقول ابن باجة: إنّ «المتحرك من ذاته فبيّنٌ أنه متقوّمٌ من المحرّك والمتحرّك، وما كان غير متقوّم من هذين الجنسين فليس بمتحرك من ذاته، مثال ذلك الحجر، فإنّ المحرك فيه لَيس بذاته، لكنه فيه من خارج عن ذاته بالقسر، فإن الذي للحجر بذاته كونه أسفل، وإذا كان كذلك فليس بمتحرك، وإذا كان فوق فوجوده إنما هو له بقاسرٍ يقسره، وإذا تنحى القاسر تحرك إلى أسفل؛ فلذلك يحتاج في الحجر ضرورة إذا تحرك أن يكون أسفل بالقوة، ولا يكون أسفل بالقوة إلا بأحد وجهين: أحدهما طبيعي وهو متى كان الحجر أرضاً بالقوة، والثاني غير طبيعي: وهو متى كان بالفعل ناراً أو ماء أو هواء فكان فوق بالفعل، وأسفل بالقوة. وهذه القوة في النار بالطبع لأنّ النار بذاتها أن تكون فوق بالفعل، ويلزم ذلك أن تكون أسفل بالقوة من أجل الهيولى الأولى المشتركة. وقد تكون أسفل بالقوة، وهو إذا كانت أيضاً بالفعل، فأمسكها ماسكٌ فوق فهذه القوة للحجر ليست طبيعية، لكنها بالطبع من أجل الهيولى» (ابن باجة، 1991م).

إنّ نظرية ابن باجة عن حركات الأجسام الثقيلة، تشتمل على الافتراضات نفسها الأساسية التي ستكون لدى نظرية غاليليو لاحقاً، وتصوّر هذه النظرية أنّ الجاذبية تعمل كطاقة حركية ضمنية تؤثّر على الجسم الثقيل من داخله وتبين الحسابات والقياسات الأساسية الصحيحة هذه القوة الحركية هي عبارة عن فراغ هندسي يتجه نحو مركز العالم والسرعات الأساسية أو الطبيعية للأجسام ذات طبيعة مختلفة ومتنوعة من الكثافة التي يتضمنها الجسم الثقيل لتكون متناسبة في حالة كمال طبيعتها كما تتناسب مع كثافاتها (Moody, 1975).




هذا المفهوم كان واضحاً أيضاً في فكر ابن باجة، وذلك عندما تناول حركة الأجرام السماوية والتي كان يُعتقد بأنها تحدث بسبب مواد معنوية أو روحية تدعى بالعقول وهي تختلف عن المجالات الكروية المتحركة بفعل تلك المواد، ومع هذا فهي مفعلة داخلياً فهي مثل «الأفكار» التي هي عبارة عن رغبة «حافزة أو حثيثة» (Moody, 1975).

ثم يقوم ابن باجة بمحاولة تقديم تفسير علمي مقنع لمسألة سقوط الحجر وفق مصطلحات المنطق الأرسطي؛ فيقول: «**فأما كيف حرَّك الثقل الحجر؟ فنحن نقول فيه**: قد تبين في مواضع كثيرة أنّ الهيولى لا صورة لها، ولا هي شيءٌ موجودٌ بالفعل، وإنّما وجودها أبداً بالقوة إحدى المقولات العشر (أي مقولات أرسطو العشر التي لا تخضع للتعريف الحصري، وإنما يمكن وصفها بالكشف عن بعض خاصياتها التي تتميز بها)، وهذا هو مرتبتها في الوجود. وبيّن أيضاً أنّ الموجود ينقسم إلى المقولات العشر، وإن الجوهر الكائن الفاسد قوامه بهذا الموضع الذي هو الهيولى الأولى، وبمعنى آخر هو به موجود، وهو الصورة. والهيولى يوجد فيها ضرورة أكثر من مقولة واحدة، فإنّه ليس يمكن أن يوجد جوهر هيولاني خلواً من أعراضٍ كثيرةٍ، ومثل أن يكون ذا كم وذا أين وذا كيف إلى غير ذلك من أجناس المقولات العشر، لكن تتقدم في الهيولى ضرورة أحد أنواع الجوهر، ولذلك يوجد في الهيولى ما يوجد فيها من أنواع المقولات التسع، وقوام ما فيه المقولات التسع إنما هو بما في مقولة الجوهر، وما في مقولة الجوهر يوجد في حدود ما في المقولات التسع. ولا يمكن أن يكون شيء مما في المقولات وقوامه خلوٌ من الجوهر، وبهذا يفارق الجوهر الأعراض، فإن الجوهر إنما هو معنى يوجد في المادة الأولى، والمادة الأولى إنما هي موجودة كما قلنا



بأنها بالقوة وإنما هي بالقوة أحد الجواهر من حيث هي ما هي، فهي بالقوة أحد أنواع العرض من حيث هي جوهر ما، وكذلك هي بالفعل أحد الجواهر بذاتها وهي أنواع الأعراض فإنها جوهرٌ ما» (العلوي، 1983م).

يقول ابن ملكا البغدادي: «... ثم سماءٌ بعد سماءٍ، كل في حيزه الطبيعي، إلا هذه التي تلينا (فإنّها) تسكن في أحيازها الطبيعية، وتتحرك إليها- إذا أخرجها مخرجٌ عنها - حركةً مستقيمةً تعيدها في أقرب مسافةٍ إليها على ما يرى». ويقصد بكلامه السابق أنّ الجسم يسقط سقوطاً حرّاً تحت تأثير قوة جذب الأرض متخذاً في ذلك أقصر الطرق في سعيه للوصول إلى موضعه الطبيعي، وهو الخط المستقيم، ويرى أنّ الجسم عندما نقذف به فإنه «يصعد بطيئاً، ويهبط بطيئاً أما بطء الصعود فلضعف الميل القاسر ومقاربة الميل الطبيعي أن يقاومه، وأما ضعف الهبوط فلأنه أوّل قوّة الميل الطبيعي بتولي إبطال ما بقي من قوة الميل القاسر أولاً فأول حتى يبطل فيبطل مقاومته؛ فلذلك يكون أشد الميل الطبيعي في آخره وأشد الميل القسري في أوله» (البغدادي، 1939م).

ويؤكد أبو البركات على ما قد طرحه الكعبي والنيسابوري من قبل، من تأثير الجاذبية نفسه على كل الأجسام بغض النظر عن شكلها وحجمها وثقلها: «وأيضاً، **لو تحركت الأجسام في الخلاء، لتساوت حركة الثقيل والخفيف، والكبير والصغير، والمخروط المتحرك على رأسه الحاد، والمخروط المتحرك على قاعدته الواسعة، في السرعة والبطء**، لأنّها إنما تختلف في الملأ بهذه الأشياء بسهولة خرقها لما تخرقها من المقاوم المخروق كالماء والهواء وغيره» (البغدادي، 1939م).

تكلم أبو الفتح الخازني عن الأجسام الساقطة التي تنجذب في سقوطها نحو مركز الأرض (أبو خليل وآخرون، 1996م). وقد بين في كتابه (ميزان الحكمة) العلاقة بين الجاذبية والمسافة التي يقطعها، كما تناول مبدأ التثاقل، وذكر بأنّ الانجذاب يكون باتجاه مركز الأرض دائماً (الرفاعي، 1973م).

ويمضي الخازني إلى أعمق من ذلك بملاحظته للجاذبية التي تتأثر بها أجزاء الجسم نفسه فيقول: «وكل جسم ثقيل يكون على مركز العالم، فإنّ مركز العالم يكون في وسطه ويكون ميل أجزائه مع جميع جهاته إلى مركز العالم تقسم كل واحد منها الجسم بقسمين معادلي الثقل عند ذلك السطح». و«كل جسم ثقيل يتحرّك إلى مركز العالم فإنّه لا يتجاوز المركز، وإنه إذا انتهى إليه انتهت حركته وإذا انتهت حركته صار ميل جميع أجزائه إلى المركز ميلاً متساوياً، وإذا انتهت حركته فإن وضع المركز منه حينئذ لا يتغير» (الرفاعي، 1973م).

نظراً لتصنيف ابن طفيل لحركة الأجسام إما علويّة وإما سفليّة، فهو يؤكد في قصته (حي بن يقظان) على أن ثمة شيء مشترك لجميع الأجسام، وشيء ينفرد به كل جسم عن الآخر. فالشيء المشترك هو (الجسمية) ذات الطبيعة المادية، والشيء الذي يتميز به جسم عن آخر، هو الثقل في أحدهما والخفة في الآخر، والمعنيان السابقان يميزان بشكل خاص الأجسام فقط (ابن طفيل، 1995م).

تنبه أبو عمران موسى بن ميمون القرطبي إلى أنّ القدماء لاحظوا ارتباط قوة المد والجزر بالقمر فقال: «ذكرت الفلاسفة أن للقمر قوةٌ زائدةٌ وخصوصيةٌ بأسطح (بمادة) الماء، و دليل ذلك زيادة البحور والأنهار بزيادة القمر، والجزر مع إدباره أعني صعوده وانحطاطه في أرباع الفلك على ما هو بين واضح عند ترصّد ذلك» (ابن ميمون، (د . ت)).

كما طرح ابن ميمون فكرة تأثير الأجسام في بعضها بعضاً، ولا يقصد بذلك تأثر الأجسام ببعضها بسبب التمازج، بل بسبب قربها أو بعدها عن بعضها أيضاً: «وقد تبين في العلم الطبيعي أنّ كل جسم يفعلُ فِعلاً ما في جسم آخر فلا يفعل فيه إلا بأن يلقاه أو يلقى ما يلقاه، إن كان ذلك الفاعل إنما يفعله بوسائط... وهكذا نجد أسباب كل ما يحدث في الوجود من حوادث يكون سببها امتزاج الاسطقسات التي هي أجسام فاعلة بعضها في بعض ومنفعلة بعضها عن بعض أن سبب حدوثها قرب جسم من جسم أو بُعد جسم عن جسمٍ» (ابن ميمون، (د. ت)).

وفي موقع آخر يؤكد وجود قوةٍ تمسك بين أجزاء الكون كافة، لكنه لم يجد إجابةً شافيةً فيترك السؤال: هل مصدر هذه القوة هو الفلك المحيط أم غير ذلك؟ مفتوحاً على أمل أن يظهر من يجيب عنه.

«واعلم أنّ القوى الواصلة من الفلك لهذا العالم على ما قد بان أربع قوىً: قوةٌ توجب الاختلاط والتركيب ولا شك أنّ هذه كافية في توليد المعادن؛ وقوة تعطي النفس النباتية لكل نبات، وقوة تعطي النفس الحيوانية لكل حي، وقوةٌ تعطي القوة الناطقة لكل ناطق وكل ذلك بتوسط الضوء والظلام التابع لنورها ودورتها حول الأرض... كذلك في العالم بجملته قوة تربط بعضه ببعض، وتحرس أنواعه من أن تبيد، وتحرس أشخاص أنواعه أيضاً مدة ما يمكن حراستها، وتحرس أيضاً بعض أشخاص العالم هذه القوة، فيها نظر هل هي بواسطة الفلك أم لا؟» (ابن ميمون، (د. ت)). لقد عبر ابن ميمون عن الجاذبية بأنها قوة مؤثرة عن بعد، كما فعل من قبل ابن بشرون وإخوان الصفا، لكنه لم يدرك ما يتعلق بهذه القوة من عناصر كالكتلة والبعد.

عالج الإمام فخر الدين الرازي في الفصل الخامس من كتابه (المباحث المشرقية) موضوع سقوط الأجسام وعلاقته بالجاذبية، فيستعرض أقوال السابقين ثم ينقضها واحداً إثر الآخر، فيقول: «الفصل الخامس في اختلاف الناس في سبب حركة الناس (قد) ذكروا في ذلك وجوهاً خمسةً:

- **(الأول)** الأجرام كلها ثقالٌ طالبةً للمركز ولكنها متفاوتةٌ في الثقل، ولكن الأثقل يسبق ويضغط الأخف إلى فوق حتى يتمهد له الاستقرار في السفل، وهذا باطل بوجهين: أما أولاً: فلأنّ انضغاط الأعظم أبطأ ونحن نرى أن حركة النار العظيمة إلى العلوّ ليست أبطأ من حركة النار الصغيرة، وأمّا ثانياً: فلأن المندفع كلما بعد عن المبدأ ذهبت سرعته وهاهنا ليس كذلك.

- **(الثاني)** أنّ المقلُّ هو يخلل الخلاء والمرسب هو لا يخلل الخلاء، وهذا باطل لأن الجسم الذي يتخلله الخلاء لابد وأن تكون فيه أجزاء لا يتخللها الخلاء وتلك الأجزاء صاعدةٌ وليس صعودها بسبب تخلل الخلاء.

- **(الثالث)** أن المقلّ هو اللين والمهبط هو الصلابة وهو باطلٌ لأنه يلزم أن يكون الحديد والحجر أثقل من الذهب والزئبق.

- **(الرابع)** أن تحدد الزوايا هو مبدأ الحركة للأشكال المتحددة إلى فوق لسهولة الخرق والتمكن من النفوذ، وإن انفراج الزوايا واستعراض السطوح هو السبب في الثقل، وهو باطل لأن تحدد الأشكال معين على سهولة الحركة ولكنه لا يكون سبباً لحصولها كما أنّ حدّة السيف لا تكون علة لحصول القطع بل لا بد من قاطعٍ نعم هي علةٌ لسهولة القطع.

- (الخامس) أنّ الخلاء يجذب الأجسام إلى نفسه جذباً يسبق بالأثقل فالأثقل ثم

يحيط به الأخف فالأخف، وهو فاسدٌ لما ثبت في باب الخلاء أنّ الخلاء لو كان فليس له جذبٌ للأجسام، وإذا بطلت هذه المذاهب فالحق ما قدمناه من أن لكل واحد من هذه العناصر حيزاً طبيعياً فإذا فارقت أحيازها لقاسر فعند زوال ذلك القاسر تعود بطباعها إلى أحيازها الطبيعية» (الرازي، 1990م).

وقد طرح الإمام فخر الدين الرازي فكرة أنّ الجسم ينجذب إلى الجسم المجاور له أكثر مما ينجذب للجسم البعيد عنه، وهو يدخل بذلك عامل المسافة بين الأجسام وعلاقته بمفهوم التجاذب، قال: إنّ «انجذاب الجسم إلى مجاوره الأقرب، أولى من انجذابه إلى مجاوره الأبعد ...» (الرازي، 1990م).

وكما تكلم قبله ثابت بن قرة، أقرّ فخر الدين الرازي في كتابه (المحصّل) بأنّ الثقل أمرٌ زائد على الحركة من خلال إحدى المسائل وبرّر ذلك بقوله: «لأن الثقيل المكن في الجو قسراً نحسّ بثقله والزق المنفوخ المسكن تحت الماء قسراً نحس بخفته مع عدم حركتهما» (الرازي، 1991م).

ويعلق الطوسي على ذلك بقوله: « والخفة والثقل لم يذهب أحد إلى أنهما ليسا بزائدين على الحركة بل هما عرضان يسميهما المتكلمون اعتماداً والحكماء ميلاً» (الرازي، 1991م).

وقد تنبه الإمام فخر الدين الرازي إلى التناسب الطردي لقوة الثقالة الأرضية مع مقدار كتلة الجسم وبالتالي ثقله، يقول: إنّ «الأجسام كلما كانت أعظم، كان ميلها إلى أحيازها الطبيعية أقوى، وكلما كان كذلك، كان قبولها للميل القسريّ أضعف، لما بيّنا أن الميل الطبيعي عائق عن القسري، والشيء كلما كان العائق عنه أقوى كان وجوده أضعف» (الرازي، 1964م).

الأوربيـــــــون

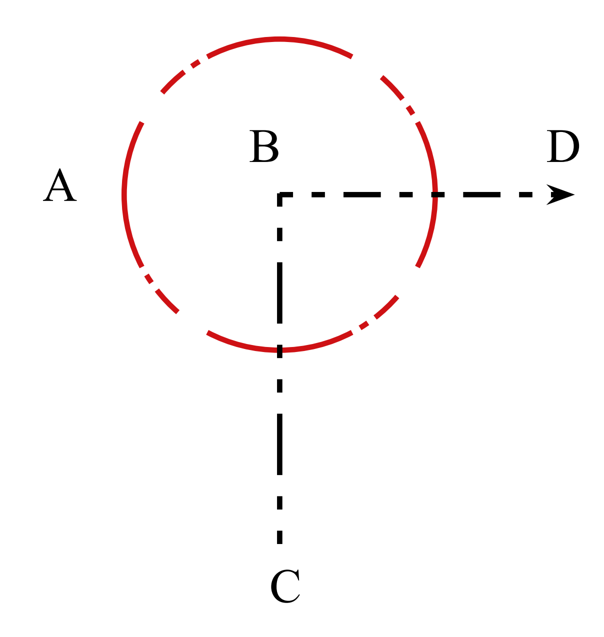
بحث عدد من العلماء الأوربيين في محاولة تفسير ظاهرة الجاذبية، وقد مهدت أعمالهم على مدى 400 سنة كافة الخيوط لنيوتن لينسج منها نظريته التي سيُكتب لها أن تسيطر 200 سنةٍ على الفكر العلمي العالمي، حتى مجيء أينشتاين ليعلن أنها ليست أكثر من حالة خاصة من نظرية النسبية العامة.

تشجّع ألبرت الساكسوني في القرن الرابع عشر الميلادي على طرح فرضية أنّ «الأرض تتحرك والسماء ساكنة»، فقد بدت فكرة سكون الأرض في وقتها، لم يكن لها من سببٍ أو داعٍ فيزيائي، وبات البحث متوجهاً للإجابة عن التساؤل: هل ستنقذ هذه الفرضيةُ الجديدة الظاهرات الطبيعية؟ الأمر الذي جعل الحياة تدبّ في أوصال الرؤية الفيثاغورسية القديمة القائلة بسكون الأفلاك، وتنتشر في علوم العصور الوسطى (برهييه، 1998م).

ويعتقد ألبرت الساكسوني أنّه ليس لدى الأرض جاذبيةً منتظمةً لأنّ «القسم الذي لا تغطية مياه البحر، وكونه معرض لأشعة الشمس سيكون موسعاً ومتمدداً أكثر من القسم الذي يغمره البحر. فضلاً عن ذلك، لو كان مركزها الهندسي يتوافق مع مركز الجاذبية ومع مركز الكون فإنها ستكون بالكامل مغمورة بالمياه». وثمّة أثرٌ لبرهان آخر يوجد في كتابات ألبرت الساكسوني، كان قد طرحه سلفه الأسبق والتر بورلي W. Burley (توفي 1357م) يقول فيه: إذا كان كل العناصر لديها الشكل الكروي ذات مراكز في مركز الكون، فكلّ عنصرٍ سيكون في مكانه الطبيعي، لكن حينئذٍ ستكون الأرض بأكملها مغمورة بالمياه، وقد حلّ جون دنس سكوت (توفي 1308م) J. D. Scot هذه المسألة بصعوبة في كتابه (الدكتور سابتيليز Dr. Subtilis) وبتفسيرٍ مشتركٍ نهائيٍ ليقدّم لنا إدراكاً

بأن قسماً من الأرض غير مغطى بالماء وذلك حتى تسنح للكائنات الحية بأن تعيش آمنة؛ لهذا أعتقد ألبرت الساكسوني بأنّ مركز الأرض هو مركز الجاذبية وليس مركزها الهندسي الذي توضع في مركز الكون. ونظراً لكون الأرض غير مثبتة في مكان، فإنّ أسباباً كثيرة وعديدة مثل التسخين بأشعة الشمس قد يُنتج اختلافاً بتوزيع الجاذبية في كتلة أو بقعة أرضيّة وقد تزيح جاذبيتها، وكآلية أكثر توسعاً فقد ذكر ألبرت الساكسوني عملية التآكل والحت (Dugas, 1957).

ناقش جيوفاني بنديتي في كتابه (تأملات متنوعة) الذي نشر عام 1585م، مسألة سقوط الأجسام، وبيّن أنّ الأجسام غير المتساوية في الوزن والمصنوعة من المادة نفسها في الفراغ، فإنها تقطع المسافة نفسها في الوقت نفسه، على عكس رأي أرسطو، كما أنّه سبق به غاليليو بتجربته الشهيرة (فوربس، 1992م).



فرق بيرناردينو بالدي (توفي 1627م) B. Baldi في الديناميك بين الجاذبية الطبيعية وبين الجاذبية القسرية والتي يكون فيها تأثير الطاقة المركبة الخارجية متعلقٌ بها، ففي القذيفة التي تحركها حركة نقل بسيطة، يتزامن مركز الثقل الطبيعي B مع مركز الثقل غير القسرية وتحت تأثير الدافع باتجاه BD (الشكل أعلاه). هذان المركزان مختلفان نظرياً فقط وليس عملياً» ويضيف بالدي بأنه تتوقف القذائف عن الحركة بسبب تأثير طبيعتها واندفاعها اللذين يحكمانها والتي من المستحيل أن تكون طبيعيةً، لكنها مؤقتةٌ وعرضيةٌ تماماً وقسريةٌ. حالياً لا يوجد حركةٌ قسريةٌ دائمة أبداً... وطالما يسود ويسيطر القسر، تكون الحركة القسرية مشابهةً تماماً للحركة الطبيعية وهي أدنى في البداية وفيما بعد وبتأثير حقيقي جداً على الحركة، فإنها تصبح أكثر سرعةً بعد ذلك، فإن القسر المؤثر يضعف رويداً رويداً وفي النهاية تتباطأ الحركة إلى أن تتلاشى في الوقت نفسه، في حين تصل القوة الدافعة والجسم المتحرك إلى حالة السكون. ويرى دوهيم أنّ «هذا الرأي غريبٌ وغير منطقي تماماً، فإذا افترضنا أن الجاذبية الطبيعية هي طاقةٌ حركيةٌ ودائمةٌ، فإنها تعطي في كل لحظة قوة دافعةً جديدةً، وليس باستطاعتنا أن نستنتج من هذا أن الجاذبية صنعية، أي أنّ القوة الدافعة التي تمنحها الطاقة الحركية، تولد قوةً دافعةً من نوع ثانٍ». ومع هذه الغرابة في هذه الأطروحة إلا أنّه تعامل معها مارين ميرسين وتولاها روبرفال، واتّبع دوهيم أثرها وكذلك ديكارت (Dugas, 1957).

يعتبر يوهانس كبلر تلميذ الفلكي تيخو براهي ومساعده الكبير، وقد ترك له إرثاً كبيراً من الملاحظات الاستقرائية التي لم ينشرها والتي تتعلق بمسارات الكواكب حول الشمس والأرض، وقد حاول كبلر أن يثبت أنّ المدارات بيضويةٌ

وليست دائريةً كما كان سائداً حتى عصره. وقد نُدهش عندما نعلم أن كبلر كان متعلقاً بالتنجيم كثيراً- وهو ما جعل غاليليو لا يأخذ أبحاثه بعين الاعتبار- فقد ألهمه التنجيم باعتقادٍ كبيرٍ في وجود قوة تنبثق من الشمس كأشعتها، هي التي تسبب حركة الكواكب بما فيها الأرض، وتفسر مدّ البحار كنتيجة لتأثير القمر. لقد كانت فرضيات كبلر هذه مشتقة من فكرة أساسية في التنجيم تعارض عقلية أرسطو، لذلك فقد رفضها ممثلو علم الفلك العقلاني مثل غاليليو وديكارت وبويل، وتقبلوا تفسير غاليليو للمد على أنه نتيجة لحركة الأرض نفسها. هذا الفصل بين الفلك والتنجيم هو ما جعل نيوتن يرفض فكرته هو نفسه في الجاذبية، وإن كانت أصلاً تعود لأفكار روبرت هوك، وهو ما دفع بالديكارتيين الفرنسيين لرفض نظرية نيوتن في الجاذبية (عويضة، 1995م).

يبيّن كبلر نفسه في المثال الآتي لكوبرنيكوس بأنه فيثاغورسي فيما يتعلق بالجاذبية، لهذا أنكر الأطروحة التقليدية التي قدّمها ألبرت الساكسوني في القرن الرابع عشر ويقول في ذلك: إنّ «مبدأ الجاذبية خاطئٌ، لأنّ نقطةً رياضياتيةٌ واحدةٌ، سواء هي مركز العالم أو أية نقطة أخرى، فإنّها لا تستطيع أن تحرك أجساماً ثقيلة بفعالية، ولا أن تكون مادة حيث يميلون إليها؛ لذا تركها الفيزيائيون وأثبتوا أنّ مثل هذه القوة بوسعها أن تعود إلى نقطةٍ ليست بجسم، وإنّما هي عبارة عن تصور سببي تماماً». ويتابع أنّه «من المستحيل للقوة الهائلة لحجر، والتي تجعل الجسم يتحرك من نفسه، أن يبحث عن نقطة رياضياتية كمركز الكون دون أن يعتبر الجسم الذي يتضمن تلك النقطة والموضوع في وضعٍ معين؛ لهذا تركها الفيزيائيون وبيّنوا أنّ الأشياء الطبيعية لديها ميل لتلك الأمور غير الموجودة».

القانون الأول

الشمس

المحرق الأول

المحرق الثاني

a_1

نصف القطر الكبير

A_1

القانون الثاني

A_2

الكوكب الأول

نصف القطر الكبير للكوكب الثاني

a_2

المحرق الثاني للكوكب الثاني

الكوكب الثاني

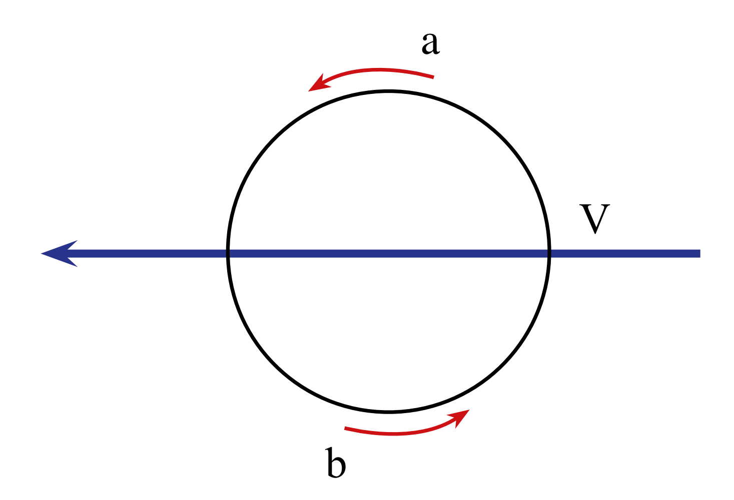
ملخص تصويري لقوانين كبلر الثلاثة

ويؤكد كبلر على مبدأ الجاذبية الحقيقي بقوله: «الجاذبية هي التأثير المشترك بين جسمين أساسيين (الجاذبية المادة المؤثرة والمادة النسبية الداخلية المشتركة) التي تميل إلى توحيدهما وضمهما معاً. إنّ القدرة المغناطيسية ذات خاصيةٍ للنوع نفسه. وهي الأرض التي تجذب الحجر، مع أنه قد لا يميل نحو الأرض، وبذات الطريقة، إذا وضعنا مركز الأرض عند مركز الكون، فإنها لا تتجه نحو مركز الكون الذي يحمل الأجسام، بل بالأحرى إلى مركز الجسم حول الذي تعود إليه، بمعنى آخر، الأرض. أيضاً سيتم توجيه الأجسام الثقيلة أياً كان مكان الأرض متجهٌ إليه، بسبب القدرة التي تحركها»، و«إذا لم تكن الأرض مستديرة، فلن تتحرك الأجسام الثقيلة مباشرةً باتجاه المركز القادم من الاتجاهات. وإنما حسب ما تأتي من مكان أو آخر، لأنّها ستكون محمولة إلى نقاط مختلفة»، و «إذا توضع حجران في موقع محدد في الكون قرب بعضهما وخارج مجال جاذبية كل الأجسام التي قد تجذبهما، فسيغدو هذان الحجران مثل مغناطيسين يميلان للتوحد في موقع وسطي وسيقطعان مسافتين حتى يتوحدان ويكونان في نسبة عكسية بالنسبة لكتلتهما» (Dugas, 1957).

وكما نلاحظ فقد تناول كبلر – وقبل نيوتن– فكرة التجاذب ومجال الجاذبية والقانون الناظم لقوة التجاذب، وإن كان غير صحيح، إلا أنّه شعر بضرورة وجود قانون يمكننا من خلاله وصف هذه القوة. ولو قارنا كلامه بكلام العلماء العرب فلن يختلف كثيراً، اللهم في فكرة النسبة العكسية.

كتب كبلر أيضاً: «تثبت الملاحظة أنّ كل شيء يحوي رطوبة ينتفخ عندما يكبر القمر وينكمش حين ينحسر أو يتضاءل القمر». وبعد ذلك صحح هذا الرأي قبل الأطروحة النيوتونية المتوقعة. «لا يتصرف القمر كنجم مبلل أو رطب، بل

ككتلة مشابهة لكتلة الأرض، إنه يجذب مياه البحر ليس لأنها سوائل، بل لأنها ذات خاصية لديها مادة أرضية لها جاذبيتها الخاصة بها». هذا التجاذب تبادلي، «إذا كان من المستحيل أن يتأثر كل من الأرض والقمر بقوة مادية أو بقوة متساوية ما، فكل منهما وفي مداره، عندها سترتفع الأرض نحو القمر والقمر سيهبط نحو الأرض إلى أن يندمج هذان النجمان. وإذا امتنعت الأرض عن جذب المياه التي تغطي بها نفسها، فسترتفع كل أمواج البحر وتجري باتجاه جسم القمر».



وبالعودة إلى الأطروحة التي طرحها قبل ذلك كل من كالكاغيني وغاليليو عن مد وجزر البحر والتي تم توضيحها بالحركة النسبية الآتية: تدور الأرض من الشرق إلى الغرب وفي الوقت نفسه تحركها السرعة v الانتقالية. عند a تضاف الحركتان سوية عند b وهما تميلان للتوازن، وبسبب قصورهما الذاتي، فإن مياه البحر تتبع هذه الحركة تماماً. وبسبب هذا التأخر، فإن الجزر يحدث مرتين مع هذا، إذا تم تركيب الحركتين بشكل تام، فسيكون لديهما فترة دوران



الأرض. لهذا يؤول غاليليو ظاهرة المد كدليل عن حركة الأرض، في حين يتمسك مناوئو النظام الكوبرنيكي بالانجذاب القمري (Dugas, 1957).

الأفكار التي كانت تدور عن قانون الانجذاب بحد ذاتها متغيرة ومبهمة. وبحسب روجر بيكون، فإنّ كل التأثيرات عن بعد كانت منتشرة في إشعاعات مستقيمة مثل الضوء، وقد وافق كبلر على هذا التناظر. ومعروف منذ زمن أقليدس أن كثافة الضوء المنبعث من مصدر يتفاوت بنسبةٍ عكسية مع مربع المسافة من المصدر. في هذا التناظر البصري، فإن فعاليات الحركة التي تنبعث من الشمس وتتصرف وفقها الكواكب، يجب أن تتبع القانون نفسه، ولكن بقي كبلر أرسطياً، فقد كانت القوة بالنسبة له تتناسب مع السرعة. بهذا استنتج كبلر النتيجة الآتية: من قانون المساحات، ثابت= rv. أي أن الحركات الفعالة للشمس على الكواكب تتناسب عكساً مع البعد عن الشمس. وحتى يتوافق هذا مع التناظر البصري، افترض كبلر أن الضوء ينتشر في كافة الاتجاهات في الفضاء، بينما الحركات الفعالة كانت فعالة فقط في مستوي خط الاستواء الشمسي (Dugas, 1957).

نشر جيوفاني باليانى عام 1638م كتابه (عن الحركة الطبيعية للأجسام الثقيلة)، وقد بين فيه أنّ سرعة سقوط الأجسام كلها واحدةٌ في الفراغ، كما أنه وجد تناسباً بين الكتلة والوزن (فوربس، 1992م).

في بحث كتبه نحو عام 1590م رفض غاليليو تصنيف أرسطو للحركات بأنّها طبيعية وقسرية وإرادية (مجلة آفاق علمية، 1989م)، وفي هذا البحث ظهرت نتائج تجربته. ويعتبر راسل أن هذه التجربة أول أعمال غاليليو المهمّة (راسل، 2008م)، مع أنّه لم ينفذها شخصياً في برج بيزا.

وسبق أن وجدنا كيف أن العلماء العرب والمسلمين قد سبقوا علماء الغرب وأدركوا أنّ الأجسام كلها تسقط بالتسارع نفسه ضمن حقل الجاذبية لولا وجود مقاومة الهواء.

لقد كان غاليليو عرضة للأفكار الخاطئة الخاصة المنسوبة إلى بيكون، واقتناعه الجمالي بأنّ المدارات الكوكبية يجب أن تكون دائرية منعه من التسليم بصحة قوانين كبلر، وقد نفر باستمرار من نظرية الجاذبية لأنّه لم يتمكن من أن يقبل فكرة التأثير عن بُعد (Stableford, 2006) .

حتى عصر ديكارت خلال القرن السابع عشر الميلادي كانت الجاذبية تعدّ جزءاً من جوهر أي جسم، وكانت تعدّ نزعةً داخليةً في الجسم، إمّا للوصول إلى مكانه الطبيعي أو للاتحاد مع جسم آخر مشابه وأكبر منه. وقد تغير هذا المفهوم فجأةً على يد ديكارت بأنه ليس للعنصر الفضائي في ذاته إلا شكل وحجم وحركة، وهي صفات لا تتضمن أي دافع للحركة في اتجاه معين أو للاتحاد في كيان واحد. أما إذا بدا مثل هذا الدافع موجوداً، فلا بد أن ننسبه إلى مؤثرات خارجية، ويجري هذا عن طريق مادة سماوية تصنع دوامات حول الأرض يجعلها تدور بشكل يومي. وتحاول هذه المادة أن تنطلق في اتجاه المماس، وهو ما يولد قوة طاردة مركزية نصف قطرية بالنسبة إلى الأرض الدائرة حول نفسها (فوربس، 1992م).

وقبل ذلك كله كان ديكارت يدرك بأن الجاذبية قوة تجمع كل أجزاء الأرض إلى بعضها بعضاً وتشدها نحو المركز، ويقول في ذلك: «أرغب حالياً في أن تتفحصوا ما هي جاذبية هذه الأرض؟ أي القوة التي توحد كل أجزائها وتجعلها تنزع كلها نحو مركزها، أكثر أو أقل، تبعاً لكون كل واحدة منها أكثر أو أقل



حجماً وصلابةً، وقوام هذه القوة يكمن في أن أجزاء السماء الصغرى التي تحيط بالأرض، لما كانت تدور حول مركزها بسرعة أشد بكثير من أجزاء الأرض، تميل بقوة أشد منها كذلك للابتعاد عنه وبالتالي تدفعه نحوه» (ديكارت، 1999م).

إذاً يرتكز ديكارت في تفسير ظاهرة الجاذبية إلى الفكرة الأرسطية ألا وهي امتناع وجود الخلاء في الطبيعة، وهو ما دفعه لتبني وجود المادة الأثيرية التي تملأ الفراغ المحيط بالأرض. لقد حاول ديكارت وغيره من علماء عصره البحث في ماهية الجاذبية، إلا أنّه اعترف بعدم معرفته للسبب الحقيقي لهذه الظاهرة، يقول في ذلك: « .. فأنا لا أعرف منهم أحداً، على سبيل المثال، لم يفترض الثقل في الأجسام الأرضية، ومع أنّ التجربة تبرز لنا بوضوح تام أن الأجسام التي تسمى ثقيلة تنزل نحو مركز الأرض، فنحن لا نعرف بذلك طبيعة ما نسميه ثقلاً، أعني أننا لا نعرف السبب أو المبدأ الذي يجعلها تسقط بهذه الكيفية، ويبقى علينا أن نتعلم ذلك من معطيات أخرى» (ديكارت، 1999م).

أعطى غاسندي قانون القصور الذاتي تعبيره الأكثر فعالية لدى مناقشته لحالة حجر متوضّع في فراغٍ خالٍ من أية مادة. يقول غاسندي: «بالأساس الأحجار هي بلا حراك وقد تبقى كذلك، وباعتبار أن تلك الحجارة لا تستطيع أن تتحرك من تلقاء نفسها على الإطلاق، كونها لا تحمل صلةً بالعالم، والتي قد تفترضها أيضاً حتى يتم إبطالها. لا يوجد مكان أدنى أو منطقة كذلك، حيث تكمن الحركة، لأنه قد لا يوجد منطقة أعلى قد يتم تصورها حتى ترتفع أو تصعد. إذاً دعنا نفترض دفعاً بسيطاً أو جاذبية نحو أي جزء آخر من الفراغ، مع حركات متساوية أو منتظمة بالإجمالي في أجزاء هذا الفراغ كافة، ولأنه يوجد سبب، لماذا ينبغي أن تكون أكثر بطئاً في بعض الأجزاء الأخرى كونه لا

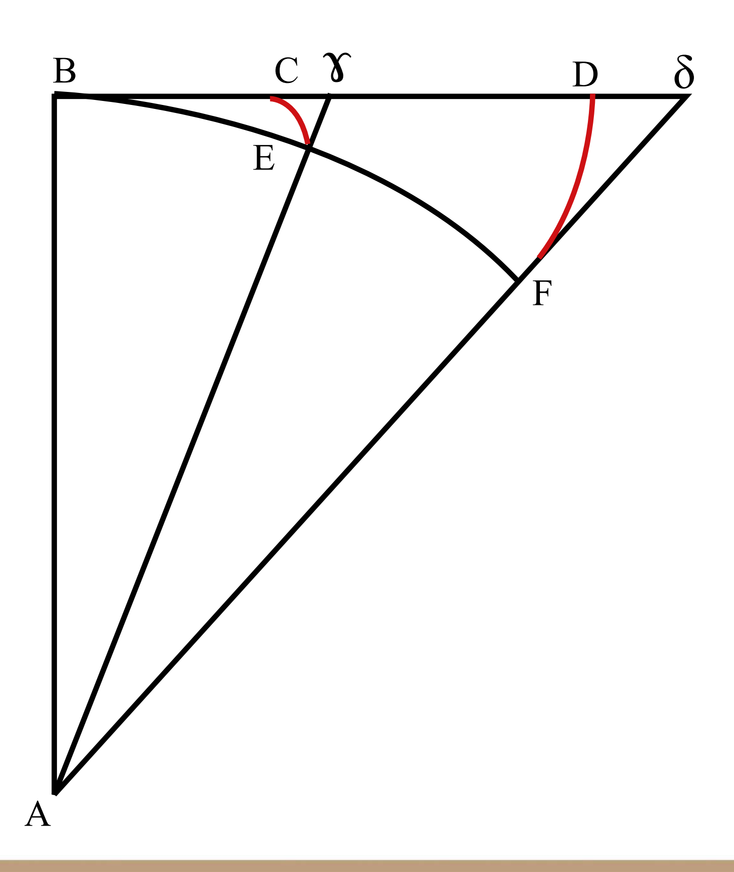
يوجد مركز حيث تكون أقرب، أو لعلها تتحرك للأمام بسرعة أكثر مما كانت قبل استمرارية قوة الدفع الأولى، يجب أن تعزز القوة الباعث الأول جداً، هذا بالنسبة إلى ازدياد سرعة حركة الحجارة. ولذلك تأتي بحيث تتحرك نحو الجسم وهو في وضع حركة مسبقاً ولا يزيد في مدته فقط، بل يسرع الحركة من ذلك. الحركة بأكملها تتأثر مرة واحدة، وهي غير قابلة للإزالة بذاتها ولا يمكن أن يجري إضعافها أو تحديدها، سوى بسبب مؤثرٍ خارجي ما، حيث القوة التي تكبحها. لنفترض أن الفراغ الذي ننتظر أن يتم قذف الحجر منه، هو خلاء مطلق أو هو بمثابة الفضاءات التخيلية، ومن ثم علينا الاعتراف بأنه قد يتم حمله في خط ثابت ومباشر ومن خلال الفضاء عينه وبحركة منتظمة ودائمة إلى أن يلتقي بفراغ آخر ما، مليء بالإشعاع المغناطيسي، مع مادةٍ مقاومةٍ أخرى» (Pav, 1966).

وبهذا يكون غاسندي قد فاق غاليليو الذي رأى العالم من خلال زجاج الجاذبية الملون، ففي حين كان غاليليو يراوغ بإيجاز حول فكرة الدائرية، اعتبر غاسندي الجاذبية كقوة خارجية والحركة الانجذابية بمثابة اندفاعٍ، لقد كاد يحقق النصر (Pav, 1966).

يبدو أنّ بوريللي قد تأثر بفكرة فلوطارخوس، فقد شبّه الكوكب في دورانه حول الشمس بحركة الحجر الدائر المربوط بخيط، ويميل الكوكب إلى الإفلات من الشمس، وقال: بما أنّ الكوكب لا يبتعد عن الشمس، فيجب أن توجد قوةٌ تجذبه دوماً نحوها. وعندما يتعادل ميل القوة الجاذب مع الميل للإفلات عن الدوران، عندها يبقى الكوكب في مداره (مطلب، 1978م).

في كتابه (الاهتزاز على مدار الساعة Horologium oscillatorium, 1659) قدّم هايغنز ثلاثة عشر مقترحاً غير مثبتين عن القوة النابذة والبندول المخروطي، حيث قام هايغنز بحساب قيمة القوة الطاردة المركزية التي تؤثر على نقطة تتحرك على محيط دائرةٍ، إذا ما نسبت الحركة إلى مجموعة من المحاور التي تدور معها (فوربس، 1992م).

في هذه الأطروحة يعتبر هايغنز أنّ الجاذبية - أي الميل نحو السقوط- تظهر من خلال توتر الخيط الذي يدعم الجسم. ولقياسه، فمن الضروري اعتبار الحركة الأولى للجسم بعد أن ينقطع الخيط، يشبه الميل بهذه الطريقة التشبث بالحياة، قبل أن يكون لديه وقت ليضمحل كما في الشكل ادناه.



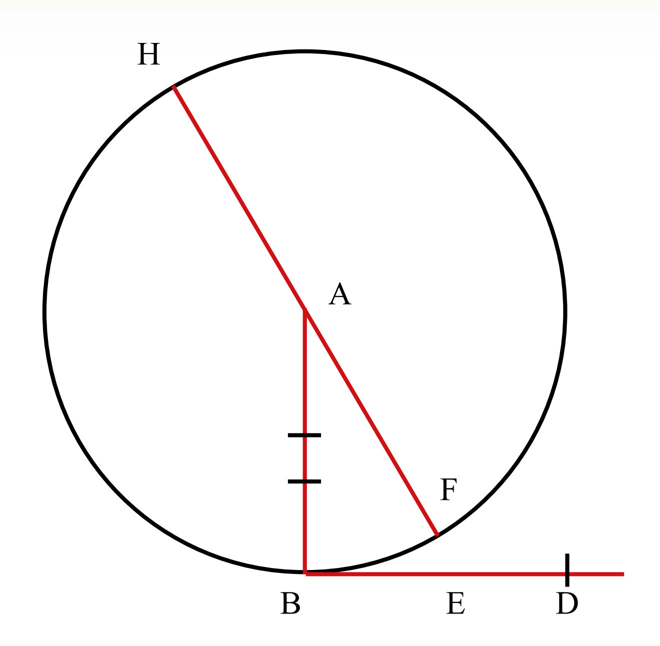
لتحديد هذا، يقوم هايغنز بتحديد جسم مربوط بعجلة دوارة، وبطريقة وضع فيها نظام وإشارة مربوطة بالعجلة، افترض أنّ العجلة كبيرة بما يكفي لتحمل رجلاً مشدوداً إليها، يحمل هذا الرجل خيطاً موصولاً بكرة من الرصاص بيده، بسبب دوران الخيط يمتد بالقوة نفسها كما لو أنه مثبت في مركز العجلة. وخلال أزمنة متساوية يقطع الرجل قوسين صغيرين جداً BE وBF. إذا انطلق من B، فستقطع الكرة على طول مسارين مستقيمين BC وBE وهما يساويان هذين القوسين، لا تسقط النقطتان C وD على نصفي القطرين AE وEF، بل خلفهما بقليل جداً (Dugas, 1957).

فإذا تزامنت النقطتان C وD مع والنقاط هي على نصفي قطر AE، AF فستتحرك الكرة الرصاصية بعيداً عن الرجل على طول نصف القطر. تزداد المسافات و..... كأعداد مربعة 1،4،9،16..... وهو أكثر دقة في حين تصبح الأقواس BF،EF.... أصغر. الآن وحسب قانون غاليليو، فإن الجسم الذي يقطع مسافةً ويبدأ سقوطه من السكون يتزايد بأعداد مربعة بشكل متتالي 1- 4- 9- 16.... لهذا، فإن الميل المطلوب من هذه الفرضية سيكون نفسه لذلك الجسم الثقيل المعلّق بخيط. في الواقع، إن النقطتين D وC تقعان خلف . ولهذا وحسب نصف القطر الذي يتوضعان عليه، فإن الوزن يميل إلى تحديد المسلك الذي يكون مماسياً لنصف القطر. لكن وفي لحظة انفصال الكرة الرصاصية والعجلة، يمكن اعتبار المنحنيات ذات المماسات Fδ، .... وبالنتيجة يجب أن تؤخذ المسافات FD وEC.... بعين الاعتبار على أنها متزايدة كسلسلة 1- 4- 9- 16.... وها هي ذي نتيجة هايغنز: «إن ميول كرة مربوطة بعجلة تدور هي نفسها، وكأن الكرة جنحت للتقدم على طول نصف القطر بحركة متسارعة منتظمة. في الحقيقة، يكفي بأن نلاحظ هذه الحركة منذ البداية. بعد ذلك، بوسع

الحركة أن تتبع أي قانون آخر. هذا لا يستطيع أن يؤثّر على الميول الموجود في بداية الحركة في أي حال، هذا الميول مشابه تماماً إلى ذاك الجسم المعلق بخيط. ومنه نستنتج أنّ القوى النابذة للجسيمات غير المتساوية والتي تتحرك بسرعات متساوية على دوائر متساوية لديها الدوران نفسه بالنسبة لبعضها بعضاً كجاذبيتها، أي كمقادير موادها الصلبة، وهذه لمحة عابرة عن مفهوم الكتلة. بالفعل، تميل الأجسام كافة للسقوط بالسرعة نفسها في الحركة المتسارعة المنتظمة نفسها، لكن ميولها لديها اللحظة التي تكون أكبر كلما كانت الأجسام بحد ذاتها أكبر. لابد أنه الشيء عينه بالنسبة للأجسام التي تبتعد عن المركز، حيث إنّ ميولها تشابه تلك التي تنشأ من جاذبيتها، وعندما يكون لدى الكرة الميل ذاته دائماً للسقوط، عندما تكون معلقة بخيط، فإن ميل الكرة المربوطة إلى عجلة تدور تعتمد على سرعة دوران العجلة. ويبقى علينا أن نوجد مقدار الميل لسرعات العجلة المختلفة» (Dugas, 1957).

لقد توسع كثيراً هايغنز في التقديم لمبدأ القوة النابذة، وسنذكر الآن الافتراضات التي طرحها باختصار شديد:

- تتناسب القوة النابذة مع نصف القطر، لأنّ فترة الدوران محددة.
- لأنّ السرعة محدودةٌ على محيط الدائرة، فإنها تتناسب عكساً مع القطر.
- بما أنّ نصف القطر محدودٌ، فإنّه يتناسب مع مربع السرعة على المحيط.
- بما أنّ القوة النابذة محدودة، فإنّ فترة الدوران تتناسب مع الجذر التربيعي لنصف القطر.
- «عندما يتحرك جسيم على محيط دائرة، فإنها قد يكتسب أثناء السقوط من ارتفاع يساوي مربع القطر، وستكون قوته النابذة تساوي جاذبيته. بمعنى آخر، إنه سيشد الحبل المربوط بالقوة نفسها كما لو أنه معلّق».



وقد برهن **هايغنز** على الفرضية الأخيرة كما يأتي: يحدد الجسم المعلق محيط دائرة بحركةٍ منتظمةٍ وبسرعةٍ قدرها $\sqrt{Rg}$ والتي سوف يكتسبها لدى سقوطه من ارتفاع . $CB = \frac{R}{2}$ فإذا ابتعد إلى B، فإنه ينتقل على طول المماس بشكلٍ منتظم قاطعاً المسافة BD= R في زمن $\sqrt{\frac{R}{g}}$ سيقضيه في السقوط على طول CB. سنفترض أن احتكاكاً BD صغيراً جداً، أي BE، ويرسم خطاً مستقيماً EFAH. سنفترض أيضاً أنّ $\frac{CG}{CB} = \left(\frac{BE}{BD}\right)^2$. من ثم BE أو $(\sqrt{b^2 - 4ac}$ يتناسب طرداً مع زمن السقوط الحر على طول CG والذي يساوي $\sqrt{\frac{2CG}{g}}$:

يقطع الجسم المنفصل عند B مسافة قدرها BE بشكل منتظم في زمن سيكون قد قضاه في سقوطٍ حرٍ من ارتفاع CG. حالياً يمكن للقوس BF أن تقرب BE. إذا تبين أنّ CG= FE، فسيكون جرى إثبات أن ميول القوة النابذة

تساوي ميول الجاذبية، لأننا أخذنا الجسيم بعين الاعتبار.

إذاً: $\left(\frac{BE}{BD}\right)^2 = \frac{R}{2} = \frac{BE^2}{2R} = FE$

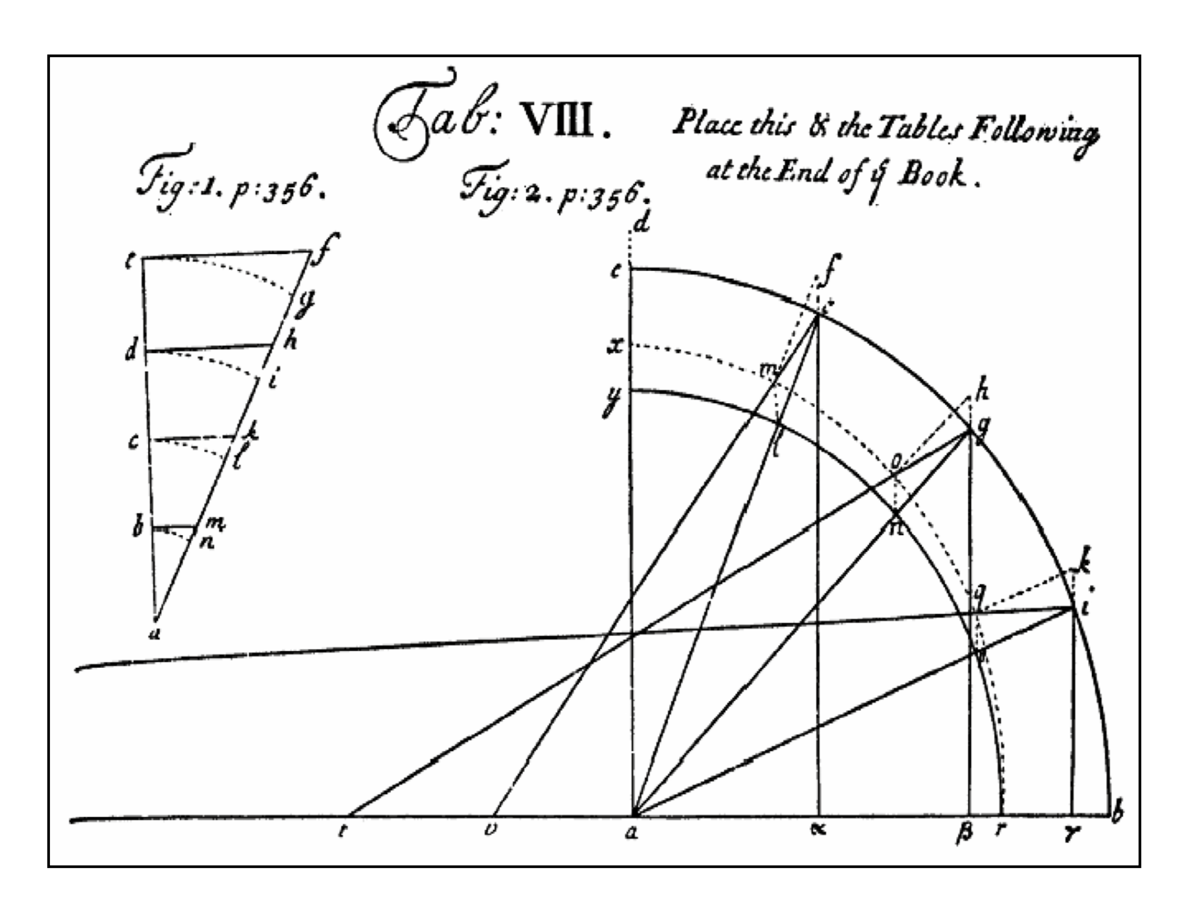
لابد من الإشارة إلى أنه بالنسبة لقوة هايغنز النابذة فهي ليست أبداً قوة افتراضية أو خيالية، بل على العكس، فقد أجرى عليها القياس والإجراء وامتيازاً خاصاً وذلك عندما طابقها مع الجاذبية في حالة خاصة كما بينا للتو (Dugas, 1957).

تقدم هايغنز في عام 1669م إلى الأكاديمية الملكية للعلوم بنظريةٍ معقدة جداً تتعلق بالجاذبية الأرضية، بحيث إنّه تخلى فيها عن نظرية الدوامات الديكارتية ووضع بدلاً منها نظريةً جديدةً تفيد بوجود مجموعةٍ من الحركات الدائرية تجعل أبسط الجزيئات تدور حول الأرض في مساحات كروية وفي كل الاتجاهات الممكنة. لقد قدم هايغنز هذه النظرية قبل أن يصدر نيوتن كتابه (المبادئ) بنحو ثمانية عشر سنة، وبعد أن اطلع هايغنز على كتاب نيوتن عام 1688م عبر عن خيبة أمله قائلاً: «ها هي جميع الصعوبات المتعلقة بقوانين كبلر تجد من يذللها، في شخص العالم الشهير نيوتن الذي قضى على نظريات الدوامات الديكارتية مؤكداً أن الكواكب تبقى مشدودة إلى مداراتها بفعل الجاذبية وأن انحراف الكواكب عن مركزها خلال دوراتها، هو أساس شكل مداراتها الإهليلجية»، وهو بذلك يعبر ضمناً بأن نيوتن قد توصل لاكتشاف شيء لم يتوصل هو إليه، خصوصاً قانون الجاذبية العامة التي أوصلته للمدارات الإهليلجية، وهو ما عجز عنه هايغنز بسبب تمسكه بفكرة المدارات الدائرية ورفضه القول بالجاذبية وبسبب وفاءه للعقلانية الديكارتية (يفوت، 1989م).

لقد صاغ روبرت هوك R. Hooke (توفي 1703م) عام 1674م وبوضوح تامّ في تقرير له بعنوان (محاولة لإثبات الحركة السنوية للأرض An Attempt to prove the annual Motion of the Earth) مبدأ الجاذبية الكوكبية قائلاً: إن «كل الأجسام وبدون استثناء تمارس قوتها الشعاعية أو ثقلها متوجهة نحو مراكزها، وهي ذات ميزة بأنها لا تحتفظ بأجزائها فقط من الانفلات كما نراها في حالة الأرض، بل أيضاً تجذب الأجرام السماوية كافة التي تحدث لتكون ضمن مجال جاذبيتها، حيث ليست الشمس تقوم بهذا ولا يؤثر القمر على الاستمرار وحركة الأرض فحسب، بالطريقة التي تؤثر الأرض عليها نفسها، بل أيضاً عطارد والزهرة والمريخ والمشتري وزحل وبسبب جاذبيتهم لديها تأثير كبير على حركة هذه الأجسام». وقد افترض هوك أن الانجذاب يتناقص مع المسافة أو البعد، أي قانون التربيع العكسي، وبلا شك استدل على ذلك من موضوع التناظر البصري (Dugas, 1957).

وقبل ذلك بعشر سنوات، أي في عام 1664م، كان هوك ينظر إلى المشكلة المتعلقة بالحركة المدارية بطريقة تختلف عن نظرة نيوتن، فقد عارض فكرة توازن القوى التي اقترحها نيوتن من قبل، والتي تقتضي وجود قوتين إحداهما دافعة للداخل والأخرى للخارج، وتعادل هاتين القوتين هو الذي يبقي الجرم دائراً حول جرم آخر. كما أسقط هوك فكرة الدوامات التي قال بها ديكارت التي تعد مسؤولة عن دفع الأجسام إلى الوراء في مداراتها، وقدم فكرة «التأثير عن بعد» للجاذبية بدلاً منها (غريبين، 2012م). ظهر ذلك في كتابه (الميكروغرافيا Micrographia أو وصف الأشياء البالغة الصغر، ونشره بين عامي 1664-1665م) حيث عرض هوك من خلال رصده للقمر رفضه النظرية الدوامية واستنتج

أنّ قوة جذب الثقل توجد في القمر والكواكب من أشكالها الكروية وأن حقيقة سلاسل المرتفعات Ridges على القمر تقوم على بنية ثابتة كما هو الحال على الأرض، كما ميز بين مركز ثقل القمر وبين مركزه الجغرافي، وفي رصده للقمر لم يشر هوك إلى ما سيكون قانون التجاذب عليه، إلا أنّه استعمل قانون التربيع العكسي لجذب الثقل، بدون أن يعرضه بشكلٍ واضح. وقد رصد في آخر منشور في الكتاب نفسه القوة المرنة للهواء، حيث درس القوّة التي يضغط بها على الأرض عمود مخروطي من الهواء. لقد كان عملاً شهيراً على نحو وافٍ لينقل اقتراحات هوك إلى الحقل، ومهد بطريقةٍ ما الطريق للقبول العام للآراء التي ستظهر بعد اثنين وعشرين سنة في (مبادئ) نيوتن. كما مُنِح عمل هوك استعراضاً طويلاً وحافلاً بالإكبار في مجلة (قصر علماء أولدنبورغ) في الإجراءات الفلسفية، ومما يلفت الانتباه بصورةٍ خاصة هو عودة نيوتن عدة مرات إلى الميكروغرافيا؛ وتشير قائمة أوراق بورتسموث إلى المقتطفات التي أعدّها من ذاك العمل، واعترافه في نظام العالم باكتشاف قانون بويل بواسطة هوك والآخرين، كما يشير فيما يبدو إلى الجزء من الميكروغرافيا الذي يُعطى فيه قانون التربيع العكسي ضمنياً (Patterson, 1949).



يوضح هذا الرسم البياني كيفية اجتماع قوة جذب ثقل الأرض مع القوة النابذة لجسم عند خطوط عرض مختلفة، وهو نقلٌ عن محاضرة لهوك قدمها في 1687/2/9م، وقد قال هالي إنّها أثّرت في أعمال نيوتن. (نسخة من أعمال هوك المنشورة بعد وفاته، مكتبة جامعة كاليفورنيا) (Patterson, 1949).

انطلق ليبنتز (القرن 18م) في نقده لما جاء في كتاب المبادئ لنيوتن من القواعد التي وضعها كبلر في علم الفلك، وما أراده ليبنتز هو إثبات صلاحية انطباقها الممكن على عالم ممتلئ بالمادة، وهو العالم الذي تتعرض فيه الحركة لإعاقة، كما تتعرض حركة الأجرام السماوية لإعاقة، وهذا مالم يخطر ببال كبلر، ومع ذلك فإنّ ليبنتز يمتدح عمل كبلر ويعده أول من قال بنظرية الدوامات قبل ديكارت الذي نقله عنها، ويؤكد الباحث كويري Koyer أن كبلر قد تخلى في كتابه (خلاصة الفلك الكوبرنيكي) عن نظرية الدوامات ووضع مكانها نظرية التجاذب والتنافر المغناطيسي اللذين تمارسهما الشمس على الأجرام التي تدور حولها، وربما حدث ذلك دون علم من ليبنتز، لذلك استمر بتمجيد الفلك الكبلري كفلك يعتقد أن الكواكب تسبح في دوّامة أثيرية تجبره حركتها على أن يرسم المدار المخصص له، مع فارق ضئيل مع ما قال به ديكارت، وهو أن حركات الكواكب حركاتٌ منسجمةٌ، بمعنى أنها حركات دائرية تتحرك بها الكواكب حول الشمس، وهي حركات، اعتقد خطأً، أنها تتناسب عكسياً مع مربع المسافة الفاصلة بينها وبين الشمس. وبناءً عليه استنتج ليبنتز تعريفاً مجرّداً للدورة المنسجمة الذي اهتدى من خلاله، وبشكلٍ خاطئٍ، كذلك إلى قانون الحقول لكبلر (يفوت، 1989م).

ولنا أن نتلمس رفض ليبنتز لجاذبية نيوتن بقوله الذي نشره عام 1715م: إنّ «الجسم لا يتحرك طبيعياً إلا بجسم آخر يدفعه بالتصاقه به؛ ويستمر في الحركة بعد ذلك إلى أن يعيقه جسم آخَر يتصل به. أي حركة أخرى في الجسم إما عجائبية وإما خيالية. بهذا تنهار الجاذبيات بالمعنى الحصري والتأثيرات الأخرى التي لا تفسرها طبائع المخلوقات، والتي يجب اللجوء في تفسير حدوثها إلى المعجزة أو إلى المحالات، أي إلى الخاصيات الخفية التي تقول بها الفلسفة المدرسية والتي أخذ البعض يطلعون علينا بها تحت اسم القوة المموه، ولكنهم يعيدوننا بذلك إلى مملكة الظلمات» (كروزيه، 1986م).

لقد كانت جهود ليبنتز ترمي إلى التوفيق بين نظرية الدوامات الديكارتية والجاذبية النيوتونية، لكنها محاولة باءت بالفشل، لأنّ تحريك الدوامات الديكارتية بحركةٍ دائريةٍ منسجمةٍ أمر لا يخطر ببال. مع ذلك كان ليبنتز مثل ديكارت، صاحب ميكانيك سابق على الميكانيك النيوتوني (يفوت، 1989م).

يرى الفيلسوف الألماني رودولف كارناب أنه ربما تمكن الإنسان أن يقدم لأوّل مرةٍ في تاريخ العلم، نظريةً منهجيةً شاملةً تتعرض لظاهرات لا تخضع للملاحظة على يد نيوتن، وذلك من خلال صياغتها على شكل مفاهيم نظرية وهي: قوة الجاذبية العامة، مفهوم الكتلة العام، الخصائص النظرية لأشعة الضوء...إلخ. ونراه يسأل مستهجناً عن عدم وجود أيّ شخص قبل نيوتن فكر بطرح التساؤل: ما هي العلاقة بين القوى التي تجعل الأجسام السماوية ترتبط مع بعضها، وما هي القوى الأرضية التي تسبب سقوط الأجسام على الأرض؟ وتجلت عبقرية نيوتن أنّه أفلت من التقسيم الأرسطي لما هو (أرضي) وما هو (سماوي)، وتقريره أنّ الطبيعة واحدة، واستطاعت نظريته تفسير سقوط التفاحة وقوانين كبلر في حركات الكواكب، كما استطاعت التنبؤ بوجود تجاذبٍ بين الأجسام المجاورة لبعضها على منضدةٍ (كارناب، 1993م).

للأسف فإنّ طرح كارناب السابق مثله مثل غيره، قائمٌ على الجهل بتاريخ العلوم العربية والعلوم التي سبقتها، فهو يبدأ من عصر العلم الحديث (عصر غاليليو وما بعده)، وقد وجدنا سابقاً أنّ ما جاء به العلماء العرب والمسلمين كافٍ – مع قلّته- ليدل على إسهامهم في نظرية الجاذبية، ومعالجتها وفق ما توفر لديهم من معلومات سواء على المستوى الرياضياتي أو المستوى التجريبي.

حتى يؤسس نظريته؛ اعتمد نيوتن على قانون السقوط الحر لغاليليو وعلى قوانين كبلر الثلاثة التي تصف حركة الكواكب حول الشمس، إضافةً لما عُرِفَ عن حركات المدّ والجزر والمذنبات، إضافة للظروف التي ساعدته من تشجيعٍ للعلم أيام الملك شارل الثاني مؤسس الجمعية الملكية (راسل، 2008م).



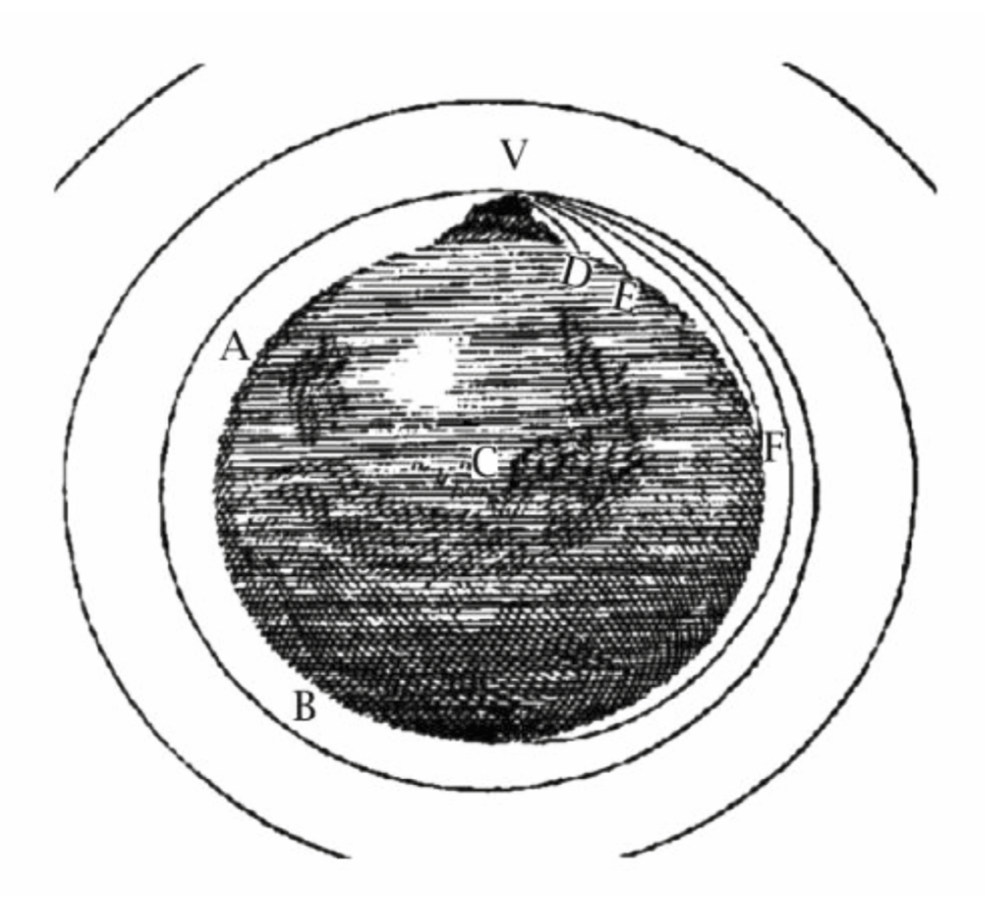
بالتأكيد لم تكن أسطورة سقوط التفاحة على رأس نيوتن هي التي أوصلته إلى قانون الجاذبية، فقد بدأ نيوتن التفكير في نظرية الجاذبية منذ عام **1666**م، وكان يقيم وقتها في الريف بعيداً عن الطاعون الكبير الذي انتشر في ذلك الوقت في المدينة، لكنه لم ينشر كتابه (المبادئ) إلا بعد 21 سنة أي عام 1687م، حيث أحكم نظريته في الجاذبية بالتدريج (**Fishbane, 2005**)، وتحديداً حتى تسنى له القيام بإجراء حساباتٍ فلكيةٍ كبيرةٍ بوساطة حساب التفاضل والتكامل (غنيمة، (د.ت)).

لم يجعل نيوتن من قانون الجاذبية إحدى المقدمات المسلم بها في كتابه، وإنما انطلق من ملاحظاتٍ فرديةٍ، ووصل بالاستقراء إلى قانونٍ عام، وتنبأ وعلل من القانون العام حقائق فردية أخرى. ويرى برتراند راسل أنهً بينما بقي قانون الجاذبية لنيوتن أكثر من مائتي عام يفسر تقريباً كل الحقائق المعروفة المتعلقة بحركات الأجرام السماوية، فقد بقي هذا القانون في عزلةٍ وغموضٍ بين قوانين الطبيعة، حتى جاءت نظرية أينشتاين النسبية العامة عام 1915م، لتضعه في مكانه المناسب في الإطار العام للفيزياء، وتُجري عليه بعض التصحيحات الدقيقة، ووجد عندها أنّ قانون نيوتن في الجاذبية أقرب للهندسة منه للطبيعة بالمعنى القديم (راسل، 2008م). وقد كان أينشتاين على حق عندما افترض بأنّ سرعة الجاذبية تفوق سرعة الضوء، وقد تأكد علماء الفلك من ذلك باستغلال الاصطفاف النادر للكواكب الذي حدث عام 2004م، وقياس كمية الضوء الصادرة عن نجم بعيد لوته جاذبية كوكب المشتري عندما مرّ الكوكب أمام النجم (مجلة علوم وتكنولوجيا، 2004م).

كان نيوتن يعتبر قانونه عن الجاذبية تفسيراً مقبولاً للظاهرات الطبيعية، ولكنه لا يتعرض لأسبابها، واعترف أكثر من مرة بعدم معرفته لمصدر هذه القوة الهائلة، إلا أنّه اقترح رأيين (غنيمة، (د.ت)):

- **الأول: أنّ سبب الجاذبية هو إرادة الخالق.**
- **الثاني: أنّه يوجد مادةٌ أثيريةٌ موزعةٌ توزيعاً غير منتظم في الفضاء، إذ تكون أكثف في بعض الجهات من الجهات الأخرى، وبذلك ينشأ عن تضاغط هذه المادة اقتراب الأجسام أو تجاذبها، وهي فكرة ديكارت عن وجود الأثير لتفسير حركة الأجرام السماوية.**

لقد أسس نيوتن نظريته في الجاذبية على مبدأ دراسة العلاقة بين القوة والكتل والمسافات والتي استطاع أن يجمعها بقانونٍ واحدٍ. يقول نيوتن في كتابه (المبادئ): «لقد فرغنا من تفسير ظاهرات السماء والبحار بقوة الجاذبية، ولكننا لم نحدد بعد علة تلك القوة، من المؤكد أنّها تصدر عن علة كائنة في أعماق مراكز الشمس والكواكب دون أن يعتري تلك الجاذبية نقص في قوتها لا طبقاً لكمية سطوح الجزيئات التي يؤثر عليها، كما تفعل العلل الميكانيكية عادةً، وإنما طبقاً لكمية المادة الصلبة التي تحويها، وإنها تنشر قوتها في كل جانب في مسافاتٍ هائلةٍ، وتتناقصُ دائماً كلما تضاعفت المسافات.. لكني لم أكن قادراً على اكتشافٍ علةٍ تلك الخصائص للجاذبية من الظاهرات، **وأنا لا أكوّن فروضاً، لأن ما لم يكن مستنبطاً من الظاهرات إنّما هو فرض، وليس للفروض مكان في الفلسفة التجريبية سواء كانت الفروض ميتافيزيقية أو فيزيائية**، سواء كانت فروضاً عن كيفيات خفية مجهولة أو عن صفات ميكانيكية. في تلك الفلسفة تستنبط القضايا الجزئية من الظاهرات، ثم نجعلها قضايا عامة بالاستقراء؛ وقد اكتشفت بهذه الطريقة خصائص مثل عدم قابلية الأجسام للنفاذ وحركاتها وقوتها الدافعة وقوانين الحركة والجاذبية. إننا قانعون بمعرفتنا أن الجاذبية موجودة في الواقع وأنّها تؤدي دورها حسب قوانين شرحناها، وأنّها تفسّر كل حركات الأجرام السماوية والبحار» (زيدان، 1977م).



توضيح لنيوتن يحاول من خلاله أن يفسّر توقعاتنا لمسارات أجسام مقذوفة سريعة جداً من أعلى قمة جبل بالقرب من جسمٍ جاذبي كبير (مثل كوكب الأرض) (كوهين، 2014م).

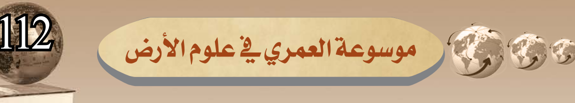
لقد كان نيوتن يتردد في منهجه العلمي بين إنكار مبدأ السببية من جهة أولى، ورؤيته للسببية كمبدأ كلي يسود عالم الظاهرات وأن القوانين في طبيعتها سببية، وبين اعتقاده بهذا المبدأ في وقتٍ لم يقم بإثباتٍ لهذا المبدأ بالملاحظة والتجربة. ويقول في ذلك: «ما أسميه جاذبية يمكن أن يجري بالدفع أو أيّ طريقة أخرى مجهولةٍ لي؛ استخدم كلمة (جاذبية) هنا لتدل بوجه عام على أي قوةٍ عن طريقها تميل الأجسام الواحد نحو الآخر كيفما كانت العلة. يجب أن نتعلم من ظاهرات الطبيعة ما الأجسام التي تجذب أجساماً أخرى وما قوانين الجاذبية وخصائصها قبل أن نبحث في العلة التي بفضلها تتم الجاذبية». ويظهر من نصّه السابق القلق من التعرض لسؤال مثل: لِمَ يجذب جسم ما جسماً آخر؟ وسبب هذا القلق هو تمسكه بالمنهج التجريبي الذي يتضمن القيام بملاحظات وتجارب مصاغة بطريقةٍ رياضياتيةٍ، كما أنّه وريث للتصور العلّي من أفكار السابقين (زيدان، 1977م).

إنّ النتيجة التي توصل إليها نيوتن والتي تعكس بدورها البعد المعرفي الذي يشكل خطاب هذا العصر هي أنّ قوة الجاذبية قوةٌ كونيةٌ تخضع لها حركة الأفلاك، ومن ثم يتحول الكون بالنسبة لهذه القوة إلى بناء آلي ضخم تعمل فيه الجاذبية وفقاً لقانونٍ عام. وعليه فإنّه لم يعد العالم مجرد هيكل تحرّكه قوى غير منظورة (قاسم، 2001م).

كانت مشكلة نيوتن أكبر بكثير من مشكلة غاليليو. فهو يريد من جملة ما يريد إثبات أنّ قانون الجاذبية الذي توصل إليه يثبت صحة قوانين كبلر الثلاثة. لنتصور أنفسنا أمام سؤال كهذا، وليس لدينا معلومات ولا حتى فكرة عن حساب التفاضل والتكامل ولا معادلةٍ تفاضليةٍ. فكيف ندرس حركة جسم

متحرك يسير في اتجاه وتؤثر فيه قوة في اتجاه آخر؟ لنفرض أنه يعرف تفريق الحركة إلى اتجاهين، ولكن السرعة هنا لا تتغير متناسبة مع الزمن كمسألة غاليليو، لأنّ القوة تتغير عندما يتحرك الجسم. هنا طلع نيوتن على العالم بمفهوم جديد، هو الدفق، إذ شبه السرعة بتدفق سائل في واحدة الزمن؛ ولكنه يريد السرعة الآنية التي هي جوهر المشكلة. لقد اعتبر الزمن مجزأ إلى آنات صغيرةٍ وحسب السرعة في كل آنٍ معتبراً أنّها منتظمةٌ وهذا اعتبارٌ مقبولٌ لأنَّ المتحرك لن تتغير سرعته كثيراً خلال جزءٍ صغيرٍ من الثانية (الأتاسي، 2010م).

وحتى يسوّغ مساواة الفعل وردة الفعل في حالة الجاذبية، جادل نيوتن على النحو التالي: «افترض أنّ عائقاً تم وضعه ليعترض ويعيق مجموعة أي جسمين B ،A وينجذبان تبادلياً كل واحد نحو الآخر، ثم إذا كان الجسمين ومثلاً A أكثر جذباً نحو الجسم الآخر B مما يكون الجسم B نحو الجسم الأول A، فسيكون العائق مثاراً بقوة بفعل ضغط الجسم A أكثر مما يضغط عليه الجسم B، ولهذا لن يبقى في حالة واحدة متوازنة، لأن الضغط الأقوى هو الذي سيسيطر عليه وسيجعل نظام الجسمين ومع العائق يتحركون مباشرةً نحو الأجزاء الموجودة على B وفي مساحات حرة ويتقدمون بشكل متواصل بحركةٍ متسارعةٍ دائمةٍ والتي تكون ضئيلةً، وعلى عكس القانون الأول. وبالنسبة للقانون الأول، ينبغي على النظام أن يبقي حالته في السكون أو بحركة موحدة للأمام في خط مستقيم، ولهذا لابد للجسمين أن يضغطا وبالتساوي العائق، وأن ينجذبا بالتساوي كل منهما للآخر»، لقد «أجريت هذه التجربة على حامل حجري وحديد. إذا وضعنا هذين الشيئين كل على حدة في وعاء مناسب، وهما يقومان بالطفو أحدهما بالآخر في ماء راكد، ولا أي منهما سيدفع الآخر. لكن



سيكونان منجذبان لبعضهما بالتساوي وسيساندان بعضهما بالضغط وأخيراً يسكنان في حالةٍ متوازنةٍ» (Dugas, 1957).

من جهة أخرى، ناقش نيوتن قوانين الحركة الدائرية المنتظمة في عام 1666م، وذلك بتحليلٍ مماثلٍ للذي قام به هالي، وانطلاقاً من قانون كبلر الثالث، صاغ قانون الانجذاب الذي يتناسب عكساً مع مربع المسافة (Dugas, 1957). وبدقةٍ أكثر مما فعله أسلافه، حاول التحقق من هذا بأسلوب تجريبي لهذا القانون؛ حيث حاول أن يكتشف فيما إذا كانت الأرض تمارس ذلك فعلاً على القمر وفقاً لهذا القانون وفيما إذا كان بالإمكان تعريف هذه الجاذبية بالثقل الأرضي. بما أنّ نصف قطر مدار الأرض هو في الترتيب الستيني لأنصاف الأقطار الأرضية، فالقوة التي تبقي القمر في مداره هي أضعف 3600 مرة من الثقل في مركز الأرض. حالياً يسقط الجسم سقوطاً حرّاً بجوار الأرض مسافةً قدرها 15 قدم باريسية في الثانية الأولى، لهذا سيسقط القمر بمسافة بوصة باريسية في الثانية الأولى، علماً أن البوصة الباريسية وحدة قياس أطوال قديمة، وهي أطول من البوصة الإنكليزية، حيث إنّ كل 1 بوصة باريسية = 2.70 سم. وكل 12 بوصة باريسية = قدم باريسية. ومن السهل حساب سقوط القمر وذلك بمعرفة فترة حركة القمر ونصف قطر مداره. ومن بيانات نصف قطر الأرض التي كانت سائدة في انكلترا، حصل نيوتن فقط على بوصة. وعندما تمت مواجهته بهذا الاختلاف، تخلّى عن فكرته، وبعد 16 عاماً فقط وفي عام 1682م تعلم حساب خط الطول الأرضي الذي أنجزه بيكارد Picard، وقد حدث هذا في اجتماع الجمعية الملكية، وبافتراض القيمة بوصة. بعد ذلك، استطاع أن يعلن: أن «القمر ينجذب إلى الأرض، وفي الواقع فإن الحركة هي دوماً مستقيمة

يحتفظ بها في مداره «semper a unam gravitare in Terram et vitatis retrahi motu rectilince et in orbe suo retineri مركز الأرض. الأرضي. مقترحاً التي ت» بتطبيق الاستقراء على مبادئ فلسفته لتأكيد الجاذبية الكونية. لقد أتاحت نظرية حقول الجاذبية له التركيز على مركز كتلة النجوم التي من المفترض أن تكون متشكلةً من طبقاتٍ مركزية متجانسة، وذلك لتحويلها إلى نقاط مادية يمكن دراسة تسارعاتها التبادلية، ثم قيّم نيوتن كتل وكثافات الشمس والكواكب المحاطة بالأقمار التابعة لها. أيضاً حسب الثقل في نقطة على سطوحها، وبين أنّ المذنبات محددةٌ بامتداد مسارٍ إهليليجي جداً واستبدل هذه المسارات بالقطع المكافئ وحسب عناصرها. بهذه الطريقة، استطاع أن يربط أجزاء مسار المذنب التي ظهرت على كل جانب من الشمس عام 1680م، بعد ذلك حصل هالي على هذا الظهور في 1531م و1607م و1682م وكانت تلك الأعوام للمذنب نفسه (Dugas, 1957)، والذي سمي فيما بعد باسم (مذنب هالي).

لكن ثمة دليلٌ عُثر عليه في أوراق نيوتن الخاصة يفيد بأنّ أعماله التي أنجزها عن الجاذبية خلال سنوات الطاعون لم يكن فيها أي إشارة إلى القمر، وأنّ ما دفعه للبحث في هذا الموضوع كان الفكرة القديمة التي تقول: لو أنّ الأرض تدور حول محورها فإنها سوف تتصدع وتتناثر بسبب قوة الطرد المركزية. فكان أن قام نيوتن وحسب هذه القوة الطاردة على سطح الأرض وقارنها بالقوة المقدرة قياساً للجاذبية وأوضح أنّ قيمة الجاذبية على سطح الأرض أكبر بمئاتٍ المرات من قيمة القوة الطاردة إلى الخارج، وهو ما جعل حجة المدعين بتصدع الأرض واهية (غريبين، 2012م).

لقد بين نيوتن أنّ دوران الأرض يستلزم تسطيح القطبين وبحسب تفاوت الجاذبية على طول خط الطول ربط نظرية المدّ والجذب المشترك للقمر والشمس، وهو ما سوغ رؤية منجمي القرن السادس عشر. أخيراً، استطاع حساب تأثيرات القمر والشمس على الانتفاخ الاستوائي وتوصل إلى نظرية تعاقب الاعتدالين (Dugas, 1957).

وجّه فولتيير نقده لنظرية نيوتن قائلاً: «كل الفرنسيين تقريباً، علماء وغيرهم، يرددون ذلك الانتقاد قائلين: لماذا لم يستخدم نيوتن لفظ الاندفاع الذي هو أيسر في الفهم، بدلاً من لفظ الجاذبية الذي هو أعسر؟» وكان جواب نيوتن على هذا الانتقاد قوله:» إنكم لا تفهمون لفظ الاندفاع حق الفهم، كما لا تدركون المدلول الصحيح للفظ الجاذبية.. ثانياً: يتعذر عليَّ القولُ بالاندفاع، لأنّ القول به يتطلب الاعتقاد بأنّ في السماء مادةً تقوم بدفع الكوكب وتحريكها، والحال أنني لا أرفض وجود هاته المادة فحسب، بل أثبتُّ عدم وجودها. ثالثاً: لا أستخدم لفظ الجاذبية إلا للتعبير عن أثر أو ظاهرة في الطبيعة، وهي ظاهرة الوجود ولا نزاع فيها، سببها علة نجهلها، وهي صفةٌ لصيقةٌ بالمادة، سيتمكن بعض ذوي العقول الراجحة يوماً من كشف الغطاء عنها. ولعل الأصح هو أن الدوامات هي التي تعد تفسيراً سحرياً ما أنزل العلم به من سلطان، والتي لم يثبت وجودها يوماً ما، بينما الجاذبية أمرٌ حقيقيٌ ما دمنا نرى أثرها ونحسب بدقة نسبها» (يفوت، 1989م).

ومع أننا نلاحظ محاولة نيوتن تفسيره لسبب الجاذبية إلا أنّه يعود ليقترح أن سببها هو حركة الأثير المتدفق نحو الأرض أو الشمس أو أي كوكب آخر، وهي الفرضية الوحيدة الكفيلة بالتحقق من صحة قانون التربيع العكسي أو

عدم صحته، ويبدو أنه تخلى عنها فيما بعد لإحساسه بالعيوب التي تعتريها، وهو ما لاحظه الباحث كويري عندما أجرى مقارنة بين ثلاثة أعمال لنيوتن تتناول هذه الفرضية (يفوت، 1989م).

عُرف أليكسيس كلود كليرو A. C. de Clairaut (توفي 1765م) أساساً بنظريته عن شكل الأرض، حيث أنها تربط بين قوة الجاذبية عند النقط السطحية لمجسم قطع ناقص دوار وبين الضغط والقوة الطاردة المركزية عند خط الاستواء (فوربس، 1992م). وقد نشر دراسته بعنوان (نظرية شكل الأرض Théorie de la figure de la terre) عام 1743م. وفي هذا العمل تأسس هذا النموذج الهيدروليكي لشكل الأرض على ورقة بواسطة كولين ماكلورين C. Maclaurin الذي أظهر أنّ كتلةً من السوائل المتجانسة تبدأ في الدوران حول الخط من خلال مركز كتلتها وتأخذ، تحت تأثير الجذب المتبادل بين جسيماتها، شكل السطح الناقص. وبافتراض أنّ الأرض تكونت من قشور إهليجية مركزية بكثافة موحدة، فيمكن تطبيق نظرية كليرو عليها، ويمكن حساب إهليجية الأرض من قياسات السطح للجاذبية. وفي عام 1849م أظهر ستوكس Stokes أنّ نتيجة كليرو كانت صحيحة أياً كانت بنية الجسم الداخلية أو كثافة الأرض، شريطة أن يكون السطح كروياً متوازناً لشكلٍ إهليجي صغيرٍ.

المراجـع العربيـة

الأتاسـي، محمد وائل، لمحات في الإبداع العلمي، الهيئة العامة للكتاب، دمشق، 2010م.

الأحيدب، إبراهيم بن سليمان بن حسن، المدخل إلى الطقس والمناخ والجغرافيا المناخية، ط1، الرياض، 2004م.

إخوان الصفا، رسائل إخوان الصفا، مجلد2، دار صادر، بيروت، (د.ت).

الأشعـري، أبو الحسن، مقالات الإسلاميين واختلاف المصلين، تحقيق: محمد محي الدين عبد الحميد، ج1،2، ط1، مكتبة النهضة، القاهرة، 1950م.

الألوسـي، حسام محيي الدين، بواكير الفلسفة قبل طاليس، ط2، المؤسسة العربية للدراسات والنشر، بيروت، 1981م.

الإيجـي، عضد الدين، كتاب المواقف، تحقيق : عبد الرحمن عميرة، ط1، عدد الأجزاء : 3، دار الجيل ، بيروت، 1997م.

ابن باجة، شرح السماع الطبيعي، حققه: ماجد فخري، دار النهار، ط2، بيروت، 1991م.

بـــدوي، عبد الرحمن، الأفلاطونية المحدثة عند العرب، كتاب الروابيع، وكالة المطبوعات، الكويت، 1977م.

بـــدوي، عبد الرحمن، خريف الفكر اليوناني، ط5، مكتبة النهضة المصرية، القاهرة، 1970م.

بـــدوي، عبد الرحمن، شروح على أرسطو مفقودة في اليونانية (ورسائل أخرى)، دار المشرق، بيروت، 1971م.

برهييه، إميل، تاريخ الفلسفة، ج2،3، ترجمة:جورج طرابيشي، ط2، دار الطليعة، بيروت، 1988م.

البغدادي، عبد القاهر، أصول الدين، إستانبول، 1928م.

بلدي، نجيب، تمهيد لتاريخ مدرسة الإسكندرية وفلسفتها، دار المعارف بمصر، القاهرة، 1962م.

بيرلمان، ياكوف، الفيزياء المسلية، ج2، ط3، ترجمة: داوود سليمان المنير، دار مير للنشر، موسكو، 1977م.

البيروني، أبو الريحان، الآثار الباقية عن القرون الخالية، تحقيق: إدوارد سخاو، ليبزغ، 1878م.

البيروني، أبو الريحان، تحديد نهايات الأماكن لتصحيح مسافات المساكن، تحقيق: ب. بولجاكوف، نشرها معهد المخطوطات العربية في مجلته، المجلد 8، 1962م، وقد أعاد معهد المخطوطات العربية بجامعة فرانكفورت بإعادة نشرها ضمن سلسلة الجغرافيا الإسلامية المجلد 25، 1992م.

البيروني، أبو الريحان، تحقيق ما للهند من مقولة مقبولة في العقل أو مرذولة، ط2، عالم الكتب، بيروت، 1982م.

البيروني، أبو الريحان، الجماهر في معرفة الجواهر، دائرة المعارف العثمانية، حيدر آباد الدكن، 1939م.

البيروني، أبو الريحان، القانون المسعودي، ج1، ط1، حيدر آباد الدكن بالهند، 1952م.

بيكون، فرنسيس، الأورغانون الجديد، ترجمة: عادل مصطفى، رؤية للنشر والتوزيع، القاهرة، 2013م.

بينيس، سولومون، مذهب الذرة عند المسلمين، ترجمة: عبد الهادي أبو ريدة، القاهرة، 1948م.

تـــارن، و. و، الحضارة الهلنستية، ترجمة: عبد العزيز توفيق جاويد، المركز القومي للترجمة، العدد 1954، ط1، القاهرة، 2015م.

تعيلب، على 1966م. الجاذبية مفتاح دراسة القشرة الأرضية. مجلة علوم وتكنولوجيا. العدد 36.

جابر بن حيان، مختار رسائل جابر بن حيان، عني بتصحيحها ونشرها: بول كراوس، مطبعة الخانجي، القاهرة، 1935م.

جيـــــل، برتران، تاريخ التكنولوجيا، ط1، ترجمة: هيثم اللمع، المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر، بيروت، 1996م.

الحلـــي، الحسن بن يوسف بن المطهر، كشف المراد في شرح تجريد الاعتقاد للطوسي، تحقيق: آية الله حسن زاده الآملي، مؤسسة النشر الإسلامي، (د.ت).

الخازنـي، أبو الفتح، ميزان الحكمة، تحقيق: فؤاد جميعان، شركة فن الطباعة، (د.ت).

ابن خرداذبة، عبيد الله بن أحمد، المسالك والممالك، أوفست عن طبعة ليدن، دار صادر، بيروت، 1889م.

خشـــيم، علي فهمي، الجبائيان، الجامعة الليبية، بنغازي، 1968م.

ابن خلـدون، عبد الرحمن، مقدمة ابن خلدون، دار الفكر، بيروت، 1988م.

أبو خليـــل، شوقي والمبارك، هاني، دور الحضارة الإسلامية في النهضة الأوربية، دار الفكر، دمشق، 1996م.

الخيون، رشيد، معتزلة البصرة وبغداد، دار الحكمة، ط1، لندن، 1997م.

ديكارت، رينيه، العالم أو كتاب النور، ترجمة: إميل خوري، ط1، درا المنتخب العربي، بيروت، 1999م.

الـــرازي، فخر الدين، شرح الإشارات والتنبيهات لابن سينا، تحقيق: مهدي محقق، طهران، 1964م.

الـــرازي، فخر الدين، كتاب المحصل، تحقيق: حسين أتاي، ط1، مكتبة دار التراث، القاهرة، 1991م.

الـــرازي، فخر الدين، المباحث المشرقية في علم الإلهيات والطبيعيات، ط2 ج1، منشورات بيدار- قم، 1990م.

الـــرازي، فخر الدين، المنتخب من كتاب الملخص، مخطوط ضمن مجموع في مكتبة المتحف البريطاني، رقم (Or. MS. 13,006).

راســـــل، برتراند، النظرة العلمية، ترجمة: عثمان نويه، دار المدى، دمشق، ط1، 2008م.

الرفاعي، أنور، تاريخ العلوم في الإسلام، دار الفكر، دمشق، 1973م.

أبو ريان، محمد علي، تاريخ الفكر الفلسفي، ج2، ط3، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، 2000م.

زيـــدان، محمود فهمي، الاستقراء والمنهج العلمي، دار الجامعات المصرية، الإسكندرية، 1977م.

ستيس، ولتر، تاريخ الفلسفة اليونانية، ترجمة: مجاهد عبد المنعم مجاهد، دار الثقافة، القاهرة، 1984م.

ســـعيّد، جلال الدين، فلسفة الرواق، مركز النشر الجامعي، تونس، 1999م.

سعيدان، أحمد سعيد، «الأصول الإغريقية للعلوم الرياضية عند العرب»، مجلة معهد المخطوطات العربية، مج7، ج2، نوفمبر 1961م.

ابن سينا، أبو عليّ، الإشارات والتنبيهات، ج2، تحقيق: سليمان دنيا، دار المعارف، ط2، القاهرة، 1983م.

ابن سينا، أبو علي، الشفاء (الطبيعيات)، تحقيق: محمد رضا مدور، إمام إبراهيم أحمد، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 1980م.

ابن ســينا، الشفاء - الطبيعيات، المعادن والآثار العلوية، ج2، ط2، تحقيق: محمود قاسم، منشورات مكتبة آية الله العظمى المرعشي النجفي الكبرى، قم، 2012م.

شــلتوت، مسلم، الفلك والمراصد الفلكية في مصر الفاطمية الإسلامية، المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية، حلوان. 2009م.

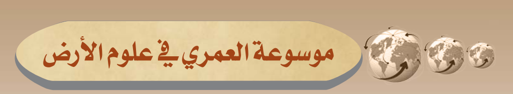
الشـــوك، علي، الثورة العلمية وما بعدها، دار المدى، دمشق، 2004م.

صـــادق، سمير حنا، نشأة العلم في مكتبة الإسكندرية القديمة، ط1، دار العين، القاهرة، 2003م.

ابن طفيل، أبو بكر، حي بن يقظان، تحقيق: عبد الرحمن بدوي، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 1995م.

طوقـــان، تراث العرب العلمي في الرياضيات والفلك، مطبعة المقتطف، القاهرة، 1941م.

طوقـــان، قدري حافظ، المهدون للاكتشاف والاختراع، مجلة الرسالة، العدد 72، القاهرة، 1934م.

العمــــري، عبدالله محمد. الجيوفيزياء التطبيقية. جامعة الملك سعود. فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية- الرياض . ردمك: 5-981-507-603-978 , 2021م.

العمــــري، عبدالله محمد. و سائر بصمه جي .كروية الأرض وتطبيقاتها من المنظورين التاريخي والعلمي. جامعة الملك سعود. فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية -الرياض. ردمك: 978-603-03-9496-8, 2021 م.

العمــــري، عبدالله 1414هـ، المسح الجاذبي (التثاقلي). دورة معهد الدراسات المساحية والجغرافية العسكري - إدارة المساحة العسكرية - الرياض. 66 صفحة.

عبد الباقي، أحمد، معالم الحضارة العربية في القرن الثالث الهجري، ط1، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، 1991م.

العلــــوي، جمال الدين، رسائل ابن باجة الفلسفية، ط1، دار الثقافة، القاهرة، 1983م.

علـــــي، ماهر عبد القادر محمد، محاضرات في الفلسفة اليونانية، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، 1985م.

عويضــــة، كامل محمد محمد، زينون، دار الكتب العلمية، ط1، بيروت، 1994م.

عويضــــة، كامل محمد محمد، كارل بوبر فيلسوف العقلانية، دار الكتب العلمية، بيروت، ط1، 1995م.

غريغوريان، أ.ت. وروجانسكايا، م.م.، الميكانيك والفلك في الشرق في العصر الوسيط، ترجمة: أمين طربوش، منشورات الهيئة العامة السورية للكتاب، دمشق، 2010م.

غنيمــة، عبد الفتاح مصطفى، فلسفة العلوم الطبيعية النظريات الذرية والكوانتوم، (د. د.)، (د.ت).

فـــروخ، عمر، تاريخ الفكر العربي إلى أيام ابن خلدون، دار العلم للملايين، بيروت، 1969م.

الفيومي، محمد إبراهيم، المعتزلة، دار الفكر العربي، القاهرة، 2010م.

فوربـــس، ر.ج.، وديكستر، إ.ج.، تاريخ العلم والتكنولوجيا، ط2، ترجمة: أسامة أمين الخولي، ج1، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة. 1992م.

قاســـم، محمد محمد، مدخل إلى الفلسفة، ط1، دار النهضة العربية، بيروت، 2001م.

كارنـــاب، رودلف، الأسس الفلسفية للفيزياء، ترجمة: السيد نفادي، ط1، دار التنوير، بيروت، 1993م.

الكرخـــي، أبو بكر، أنباط المياه الخفية، ط1، مطبعة دار المعارف، حيدر آباد الدكن، 1892م.

كـــــرم، يوسف، تاريخ الفلسفة اليونانية، مطبعة لجنة التأليف والترجمة، القاهرة، 1936م.

كروزيـــه، موريس، تاريخ الحضارات العام، ط2، نقله إلى العربية: فريد داغر وفؤاد أبو الريحان، منشورات عويدات، بيروت – باريس، 1986م.

الكنـــدي، أبو يعقوب، رسائل الكندي الفلسفية، تحقيق: عبد الهادي أبو ريدة، القاهرة، 1950م.

كومنس، نيل كومنس، ماذا لو لم يوجد القمر؟، مجلة علوم وتكنولوجيا، تصدر عن معهد الكويت للأبحاث العلمية، العدد 39، الكويت، يناير 1997م.

كوهـــين، مايكل، الميكانيكا الكلاسيكية، ترجمة: محمد أحمد فؤاد باشا، مؤسسة هنداوي، القاهرة، 2014م.

لانــداو، ل. وكيتايجوررودسكي، أ، الفيزياء للجميع، ترجم بإشراف: داود المنير، ط3، دار مير، موسكو، 1978م.

ليستين، ريمي، أبناء الزمان، ترجمة: محمد حسن إبراهيم، منشورات وزارة الثقافة، دمشق، 1998م.

ابن مثويه، الحسن، التذكرة في أحكام الجواهر والأعراض، تحقيق: سامي نصر لطف وفيصل عون، دار الثقافة، القاهرة، 1975م.

مجلة آفاق علمية، العدد 17، السنة 3، كانون الثاني-شباط، تصدر عن مؤسسة عبد الحميد شومان، عمان. 1989م.

مجلة علوم وتكنولوجيا، تصدر عن معهد الكويت للأبحاث العلمية، العدد 112، الكويت، إبريل 2004م.

ابن المرزبان، المحصل، مخطوطة المكتبة الأحمدية بحلب، رقم 1122، الكتاب الثالث.

المرزوقــي، أبو علي، الأزمنة والأمكنة، تحقيق خليل المنصور، ط1، دار الكتب العلمية، بيروت، 1996م.

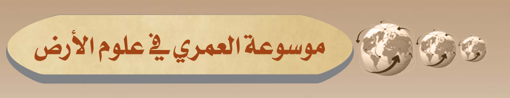
مطـــر، أميرة حلمي، الفلسفة اليونانية، ط2، دار قباء، القاهرة. 1998م.

مطلــب، محمد عبد اللطيف، تأريخ علوم الطبيعة، وزارة الثقافة والفنون، بغداد، 1978م.

المقدسي البشاري، أبو عبد الله محمد بن أحمد، أحسن التقاسيم في معرفة الأقاليم، ط3، مكتبة مدبولي القاهرة، 1991م.

المقدســي، المطهر بن طاهر، البدء والتاريخ، ج2، مكتبة الثقافة الدينية، بور سعيد.

موقع الإيمان على شبكة الإنترنت - تصميم مركز البحوث - جامعة الإيمان - بإشراف الشيخ عبدالمجيد الزنداني.

ابن ميمون، موسى، دلالة الحائرين، ج2، تحقيق: حسين آتاي، دار مكتبة الثقافة الدينية، القاهرة، (د.ت.).

نصـــــر، محمد عبدالفتاح. الجاذبية الأرضية. 1991م. دورة معهد الدراسات المساحية والجغرافية العسكري - إدارة المساحة العسكرية – الرياض. 83 صفحة.

نصـــــر، سيد حسين، مقدمة إلى العقائد الكونية الإسلامية، ط1، ترجمة: سيف الدين القصير، دار الحوار، اللاذقية، 1991م.

الهمـداني، أحمد بن محمد، الجوهرتان المائعتان العتيقتان المائعتان من الصفراء والبيضاء، تحقيق: محمد محمد الشعيبي، دار الكتاب، دمشق، 1983م.

هوفمـان، يانيش، النسبية وجذورها، ترجمة: مروان عريف، ط1، دار طلاس، دمشق، 2000م.

هونكـــه، زيغريد، شمس الله تسطع على الغرب، ط6، ترجمة: فاروق بيضون، بيروت، 1981م.

وجـــدي، موسوعة القرن العشرين، ط3، ج1، دار المعرفة، بيروت، 1971م.

يحيـاوي، صلاح، الإبداع مصادفة أم ذكاء أم ماذا؟، مجلة الفيصل، العدد 251، الرياض 1997م.

يفـــوت، سالم، الجاذبية بين الدعاة والخصوم، مجلة المناظرة، العدد2، السنة1، الرباط، يونيه 1989م.

يفوت، سالم، في مفهوم الجاذبية: نيوتن ضد ديكارت، مجلة المناظرة، العدد1، السنة 1 الرباط، يونيه 1989م.



المراجع الأجنبية

Dugas, Rene, (1957), A History Of Mechanics, Routledge &Kegan Paul ltd. London.

Fishbane, Paul and others, (2005), Physics for scientists and engineers, 3ed, Pearson, New Jersey.

Moody, Ernest Addison, (1975), Studies in medieval philosophy, science, and logic: collected papers, 1933-1969, Uni. Of California press.

Pav, Peter Anton, (1966), Gassendi's Statement of the Principle of Inertia, Isis, Vol. 57, No. 1, Spring, The University of Chicago Press.

Patterson, L.D., (1949), Hooke's Gravitation Theory and Its Influence on Newton. I: Hooke's Gravitation Theory, The University of Chicago Press, Isis, Vol. 40, No. 4, Nov.

Reynolds, J. 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley &Sons. 796 p.

Sambursky, Shmuel, (1975), Physical Thought, PICA press, New York.

Tsuboi, C., 1981 – Gravity. George Allen & Unwin Press, 254p.





مواقع على الشبكة (الانترنت)

https://alchetron.com/Abu-Maʿshar

https://en.wikipedia.org/wiki/Tide#cite_ref-25

https://en.wikipedia.org/wiki/Whirlpool

https://inventions.t4edu.com/inventions

https://Mousou3a.educdz.com

https://en.wikipedia.org/wiki/Titus

http://bogdanantonescu.squarespace.com/blog/2015/8/27/a-tornado-near-hague-on-july-1751

http://bibliodyssey.blogspot.com/2006/06/on-origins-of-atmospheric-science.html

https://www.wdl.org/ar/item/9210

https://en.wikipedia.org/wiki/Tower of the Winds

https://en.wikipedia.org/wiki/Hadley_cell

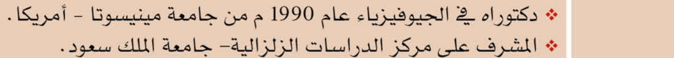
http://www.islandnet.com/~see/weather/history/beaufort.htm.

http://bibliodyssey.blogspot.com/2006_06_25_archive.html

http://galton.org/books/meteorographica/index.htm


موسوعة العمري
في علوم الأرض

أ.د. عبد الله بن محمد العمري



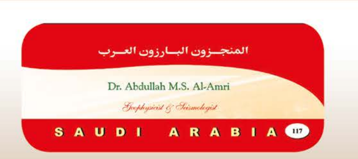
المناصب الإدارية والفنية	❖ دكتوراه في الجيوفيزياء عام 1990 م من جامعة مينيسوتا - أمريكا. ❖ المشرف على مركز الدراسات الزلزالية- جامعة الملك سعود. ❖ المشرف على كرسي استكشاف الموارد المائية في الربع الخالي. ❖ المشرف على مركز الطاقة الحرارية الارضية بجامعة الملك سعود. ❖ رئيس الجمعية السعودية لعلوم الأرض. ❖ رئيس قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود. ❖ مؤسس ورئيس تحرير المجلة العربية للعلوم الجيولوجية AJGS. ❖ رئيس فريق برنامج زمالة عالم مع جامعة أوريغون الحكومية الأمريكية ومعهد ماكس بلانك الألماني.
الاستشارات والعضويات	● مستشار مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية. ● مستشار هيئة المساحة الجيولوجية وهيئة المساحة العسكرية والدفاع المدني. ● مستشار مدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة. ● مستشار هيئة الرقابة النووية والإشعاعية. ● باحث رئيس في عدة مشاريع بحثية مدعمه من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية وشركة أرامكو. ● باحث رئيس في مشاريع مدعمه من وزارة الطاقة الأمريكية وجامعة كاليفورنيا ومعمل ليفرمور الأمريكي LLNL. ● عضو الجمعية الأمريكية للزلازل. ● عضو الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء. ● عضو الاتحاد الأوروبي للجيولوجيين. ● عضو لجنة كود البناء السعودي وعضو المنتدى الخليجي للزلازل GSF. ● عضو لجنة تخفيف مخاطر الزلازل في دول شرق البحر الأبيض المتوسط RELEMR. ● باحث رئيسي ومشارك في مشاريع بحثية مع جامعات الاباما وبنسلفانيا وأوريغون الامريكية. ● ضمن قائمة (المنجزون البارزون العرب) من قبل منظمة ريفاسيمنتو الدولية. ● ضمن قائمة Who's Who في قارة آسيا للتميز العلمي. ● ضمن قائمة Who's Who في العالم للإسهامات العلمية.
النشر العلمي والتأليف	❖ نشر أكثر من **200** بحثاً علميًا في مجلات محكمة. ❖ ألف **35** كتاباً علمياً. ❖ أصدر موسوعة رقمية في علوم الأرض من **14** مجلداً و**107** ملفات علمية.
المشاريع البحثية	❁ أنجز **40** مشروعاً بحثياً محلياً و **16** مشروعاً بحثياً دولياً و **74** تقريراً فنياً.
المؤتمرات والندوات	❁ شارك في أكثر من **125** مؤتمراً محلياً ودولياً و **75** ندوة وورشة عمل متخصصة.
التعاون الدولي	❁ باحث رئيسي في **13** مجموعة عمل أمريكية وألمانية.
الجوائز	❖ حصل على جائزة المراعي للإبداع العلمي عام 2005 م. ❖ حصل على جائزة التميز الذهبي من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم و التقنية عام 2006 م. ❖ حصل على جائزة أبها التقديرية للإسهامات العلمية عام 2007م. ❖ حصل على جائزة جامعة الملك سعود للتميز العلمي عام 2013 م. ❖ حصل على جائزة الاتحاد الامريكي للجيوفيزياء للتعاون الدولي والنشاط البحثي عام 2013 م. ❖ حصل على جائزة جامعة السلطان قابوس للإسهامات العلمية عام 2013 م. ❖ حصل على جائزة الملك سعود لإدراج المجلة العربية للعلوم الجيولوجية في قائمة الـ ISI. ❖ حصل على جائزة أفضل رئيس تحرير مجلة علمية عام 2017 من الناشر الألماني SPRINGER. ❖ حصل على جائزة ألبرت نيلسون ماركيز للإنجاز مدى الحياة عام 2018 من منظمة Who's Who العالمية.
دروع التكريم	❖ حصل على **85** درعاً تكريمياً وشهادات تقدير من المملكة وعمان والكويت والإمارات والأردن ومصر وتونس والجزائر وألمانيا وأمريكا.













موسوعة العمري في علوم الأرض

Al-Amri's Encyclopedia of Earth Sciences







تقدير
عمر الأرض



شكل
الأرض وحركاتها



الجاذبية
الأرضية وتطبيقاتها



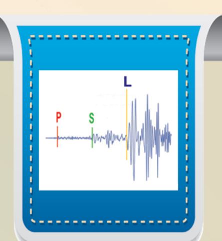
التركيب
الداخلي للأرض



المعادن
والتعدين



المد
والجزر





موجات
التسونامي



الزلازل
والتفجيرات



تقييم
مخاطر الزلازل



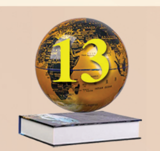
البراكين
وسبل مجابهتها



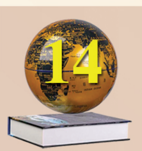
جيولوجية
القمر

12
الأغلفة
المحيطة بالأرض





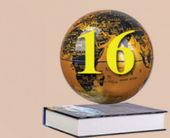
المشاكل
البيئية وحلولها



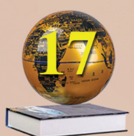
التغيرات المناخية
والاحتباس الحراري



التشجير
التحديات والحلول



الانزلاقات
والانهيارات والفيضانات

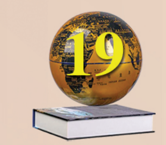


الأمطار
السيول والسدود

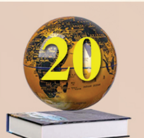


التصحر
والجفاف

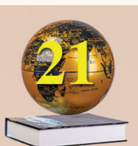




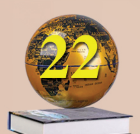
مستقبل
الطاقة في عالمنا



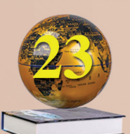
الطاقة
الحرارية الأرضية



هل انتهى
عصر النفط؟



الجيوفيزياء
النووية

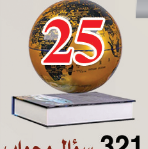


الجيولوجيا
الطبية

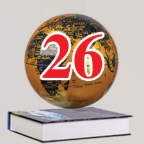


دليل كتابة
الرسائل والنشر العلمي

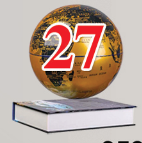




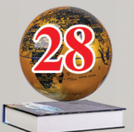
321 سؤال وجواب
في تطور
الأرض



325 سؤال وجواب
في علم الصخور
والجيوكيمياء



358 سؤال وجواب
في الثروات
الطبيعية



380 سؤال وجواب
في المخاطر
الجيولوجية



303 سؤال وجواب
في علم الزلازل
والزلزالية الهندسية



300 سؤال وجواب
في الجيوفيزياء
التطبيقية







www.alamrigeo.com